

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Návrh světelného řízení pro vybranou křižovatku

Control Plan Proposal for Selected Intersection

Student: Bc. Marek Muzikant

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Muzikant**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: **Návrh světelného řízení pro vybranou křižovatku**
Control Plan Proposal for Selected Intersection
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: Cílem práce je realizovat návrh světelného řízení na stanovené křižovatce.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Teoretická východiska pro řešení práce.
3. Analýza dat potřebných pro provedení návrhu.
4. Návrh světelného řízení.
5. Dosažené výsledky a jejich zhodnocení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

MEDELSKÁ, Viera. *Dopravné inžinierstvo*. Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 80-05-00737-X.
Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: technické podmínky : TP 81. 2. vyd. Praha: Ministerstvo dopravy, 2006. ISBN 80-86502-30-9.
MARTOLČIS, Jan. *Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek*. Liberec: EDIP, 2011. ISBN 978-80-87394-03-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Michal Dorda, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. května 2019



Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, же - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. května 2019



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Marek Muzikant

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hlavní 323, Mikulovice, 790 84

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MUŽIKANT, M. *Návrh světelného řízení pro vybranou křižovatku: Diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2019, 74 s. Vedoucí práce: Dorda, M.

Diplomová práce se zabývá návrhem světelného řízení na křižovatce, která se nachází v Mikulovicích u Jeseníku. Práce se skládá z několika částí. Teoretická část je věnována popisu křižovatek, signálnímu plánu a popisu metody saturovaného toku. Praktická část obsahuje analýzu dat potřebných pro provedení návrhu, samotný návrh světelného řízení. Dále je v diplomové práci uveden výpočet pomocí metody saturovaného toku a návrh vlastního signálního plánu. Následně jsem provedl zhodnocení dosažených výsledků a zvolil vhodný signální plán.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MUŽIKANT, M. *Control Plan Proposal for Selected Intersection: Master Thesis.* Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2019, 74 p. Thesis head: Dorda, M.

This master thesis deals with the design of light control on an intersection, which is located in Mikulovice, near Jeseník. The thesis consists of several parts. The theoretical part is dedicated to description of the intersections, to the signal plan and to the description of the method of saturation flow. The practical part includes the analysis of data needed to conduct the design, and the design of the lighting device itself. Furthermore, the master thesis includes the calculation using the saturation flow method, and the design of the signal plan itself. Consequently, I have evaluated the achieved results and chosen the suitable signal plan.

Obsah diplomové práce

Seznam použitých značek a symbolů.....	7
1 Úvod.....	9
2 Teoretická východiska pro řešení práce	10
2.1 Křižovatky	10
2.2 Řízené křižovatky	11
2.3 Signální plán	12
2.4 Metoda saturovaného toku.....	12
3 Analýza dat potřebných pro provedení návrhu	13
3.1 Lokalita křižovatky	13
3.2 Popis křižovatky	14
3.3 Údaje zjištěné dopravním průzkumem	21
4 Návrh světelného řízení	24
4.1 Návrh signálního plánu pro třífázové schéma	25
4.2 Návrh signálního plánu s výhledovými intenzitami pro rok 2045.....	43
4.3 Návrh signálního plánu pro čtyřfázové schéma.....	49
4.4 Návrh signálního plánu pro čtyřfázové schéma na rok 2045.....	56
4.5 Signální plán při průjezdu drážního vozidla	60
5 Dosažené výsledky a jejich zhodnocení.....	66
6 Závěr.....	69
Seznam použité literatury.....	70
Seznam použitých tabulek.....	71
Seznam použitých obrázků.....	73
Seznam použitých grafů	74

Seznam použitých značek a symbolů

c_{opt}	délka optimálního cyklu [s]
C_v	kapacita běžného vjezdu [pvoz/h]
ČSN	Česká státní norma
f	podíl odbočujících vozidel [-]
i	index fáze
I	intenzita dopravy [pvoz/h]
k_{obl}	koeficient oblouku [-]
k_{skl}	koeficient sklonu [-]
L	ztrátový čas [s]
L_f	délka fronty [m]
n	počet fází [-]
n_p	počet řadících pruhů tvořících jeden vjezd
pvoz/h	přepočtená vozidla za hodinu
R	poloměr oblouku [m]
R_{ez}	rezerva kapacity vjezdu [%]
SSZ	světelné signalizační zařízení
PZZ	přejezdové zabezpečovací zařízení
S_v	saturovaný tok vjezdu [pvoz/h]
$S_{zákl}$	základní saturovaný tok [pvoz/h]
TP	technické podmínky
t_c	skutečná délka cyklu [s]
$t_{m,r}$	rozhodující mezičas [s]

t_w	střední doba zdržení [s]
y	stupeň saturace [-]
Y	celkový stupeň saturace [-]
$y_{krit,i}$	kritický vjezd [-]
z_i	délka zelené [s]
z'	efektivní délka zelené [s]
α	podélný sklon vozovky [%]

1 Úvod

Z důvodu stále uspěchanější doby, které je automobilová doprava nedílnou součástí, se zvyšuje intenzita provozu na pozemních komunikacích. Právě kvůli zvyšující se intenzitě a pro zrychlení a zkvalitnění dopravy jsou zřizovány světelně řízené křižovatky.

Návrh světelného řízení jsem si vybral, protože bydlím ve vesnici, kterou prochází silnice I. třídy a na které je křižovatka řízena právě světelnou signalizací. Na dané křižovatce je SSZ použito z důvodu bezpečnosti, kvůli blízkosti železničního přejezdu, kterým je křižovatka ovlivněna. Tudíž SSZ není použito z důvodu vysokých intenzit dopravy.

K přezkoumání stávajícího signálního plánu mě dovedla krátká doba zelené na jednom vjezdu. Mou prací se budu snažit dosáhnout toho, aby bylo možné zlepšit kvalitu dopravy na dané křižovatce.

Cílem mé práce je navrhnout signální plán pro současné dopravní intenzity. V další části práce se budu zabývat návrhem signálního plánu pro výhledové intenzity na rok 2045. Další návrh signálního plánu bude pro čtyřfázové schéma, kdy budou proudy jedoucí současně proti sobě rozděleny do dvou samostatných fází, takže se nebudou vzájemně ovlivňovat. V poslední části práce se budu zabývat situací, když bude křižovatka ovlivněna aktivním přejezdovým zabezpečovacím zařízením a možným řešením dané situace.

2 Teoretická východiska pro řešení práce

V této kapitole budou vysvětleny pojmy křižovatka, signální plán. Metoda výpočtu signálního plánu je částečně popsána ve čtvrté kapitole, kde je s ní dále pracováno.

2.1 Křižovatky

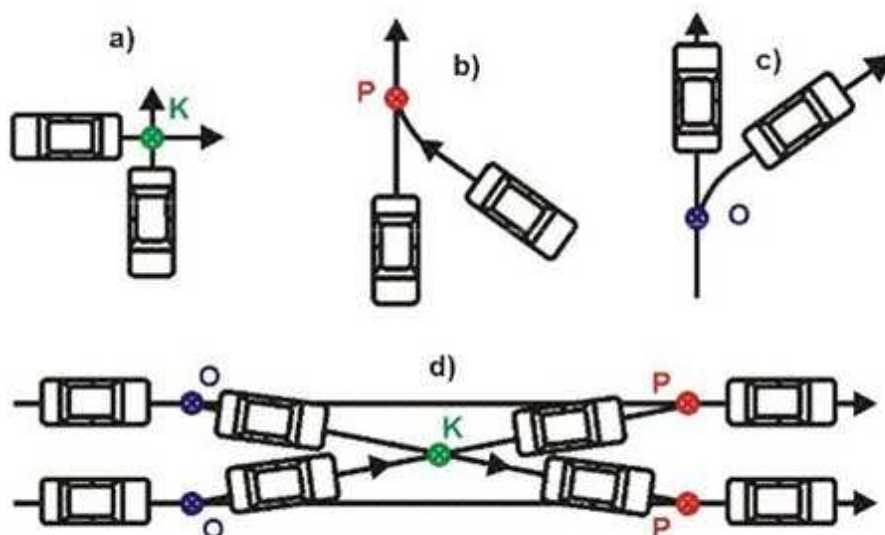
Místo, ve kterém dochází v půdorysném průmětu k protnutí nebo styku pozemních komunikací a minimálně dvě jsou vzájemně propojeny, nazýváme křižovatka. Připojení účelových komunikací se za křižovatku nepovažuje.¹

Jestliže dochází v půdorysném průmětu k protnutí, ale komunikace nejsou vzájemně propojeny, jedná se o křížení. Může jít o místo průmětu s drážní komunikací nebo mimoúrovňové křížení komunikací.¹

Místa, kde dochází ke křižování pohybu vozidel se nazývají kolizní body.

Rozlišujeme kolizní body (viz Obr. 1):

- křižné (a),
- přípojné (b),
- odbočné (c),
- průpletové (d).²

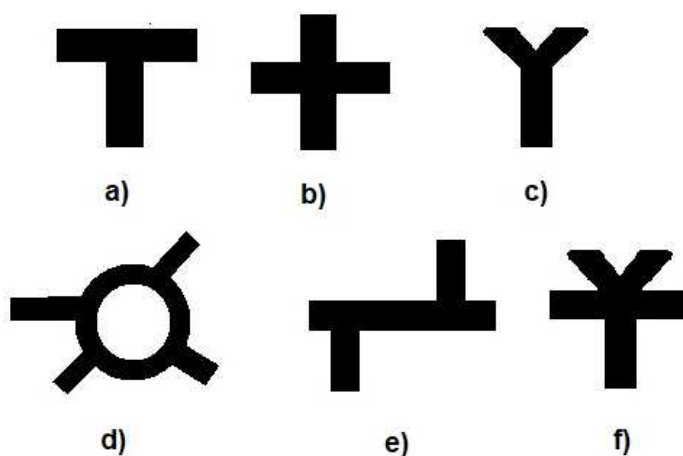


Obr. 1 Vyobrazení kolizních bodů²

Další možnost rozdělení úrovnňových křižovatek je podle počtu a tvaru ramen (viz Obr. 2).

Křižovatky mohou být:

- stykové (a),
- průsečné (b),
- vidlicové (c),
- okružní (d),
- odsazené (e),
- hvězdicové (f).²



Obr. 2 Schéma úrovnňových křižovatek²

Křižovatky pozemních komunikací můžeme rozdělit s ohledem na druh řízení:

- křižovatky neřízené – na této křižovatce je přednost v jízdě upravena pouze zákonem o provozu na pozemních komunikacích,
- křižovatky řízené – na takové křižovatce je k řízení použito světelné signalizační zařízení.²

2.2 Řízené křižovatky

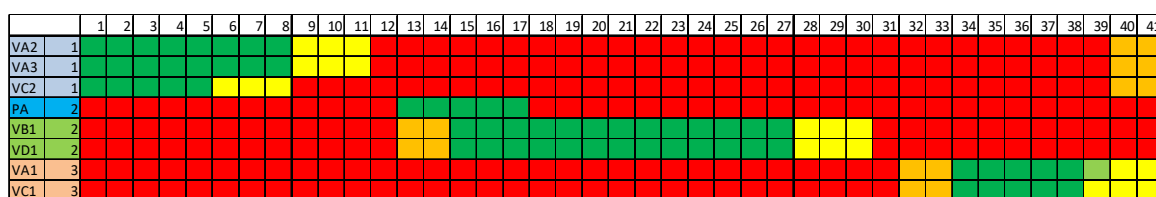
Při vysokých intenzitách dopravních proudů, když nejsou neřízené křižovatky schopny tyto proudy odbavit, se používají křižovatky řízené. V této situaci jsou křižovatky řízeny světelným signalizačním zařízením.⁴

Hlavním úkolem řízené křižovatky je umožnit střídavě volno všem dopravním proudům, aby nebyly v kolizi.³

2.3 Signální plán

Signální plán určuje pořadí a délku signálních dob jednotlivých světelných skupin. Vytváří se graficky a znázorňuje signální obrazy jednotlivých signálních skupin pro všechny účastníky provozu.⁵

Na obrázku (*Obr. 3*) je ukázka signálního plánu.



Obr. 3 Signální plán

2.4 Metoda saturovaného toku

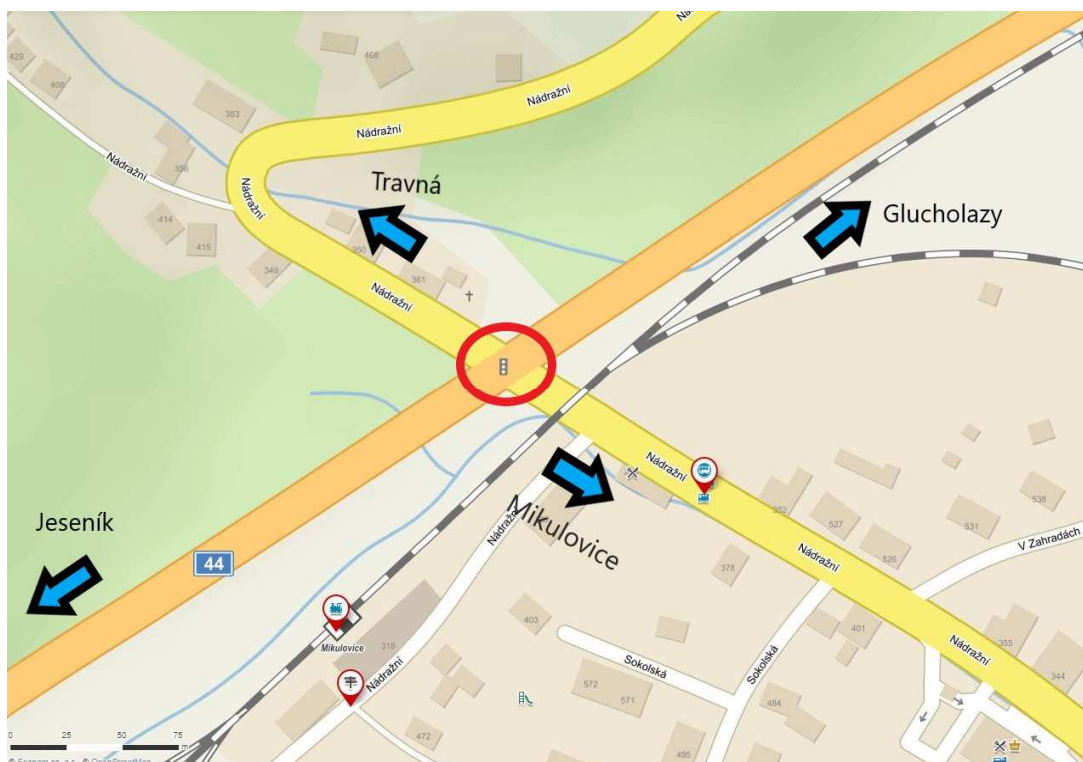
Metoda saturovaného toku spočívá ve stanovení délky cyklu a signálů volno v souvislosti se stupni saturace, které jsou spočítány pro jednotlivé fáze. Signální plán i kapacitní posouzení se vytváří vždy pro jednu hodinu.⁶

3 Analýza dat potřebných pro provedení návrhu

V následující kapitole je popsána lokalita křižovatky, následuje popis jednotlivých ramen vstupujících do křižovatky. Poslední část je věnována provedení dopravnímu průzkumu a zjištěným hodnotám.

3.1 Lokalita křižovatky

Křižovatka, která je předmětem diplomové práce, se nachází v obci Mikulovice u Jeseníku. Křižovatku tvoří páteřní komunikace první třídy I/44, která spojuje města Mohelnici, Bludov, Rapotín, Jeseník, Mikulovice a dále pokračuje přes hraniční přechod Mikulovice/Glucholazy do Polska. Délka této silnice je 82,47 km. Tuto komunikaci křížuje silnice druhé třídy II/457, která spojuje hraniční přechod Travná/Lutynia a hraniční přechod Osoblaha/Pomorzowiczki. Její délka je 78 km. Popis silnic je uveden na obrázku (Obr. 4).



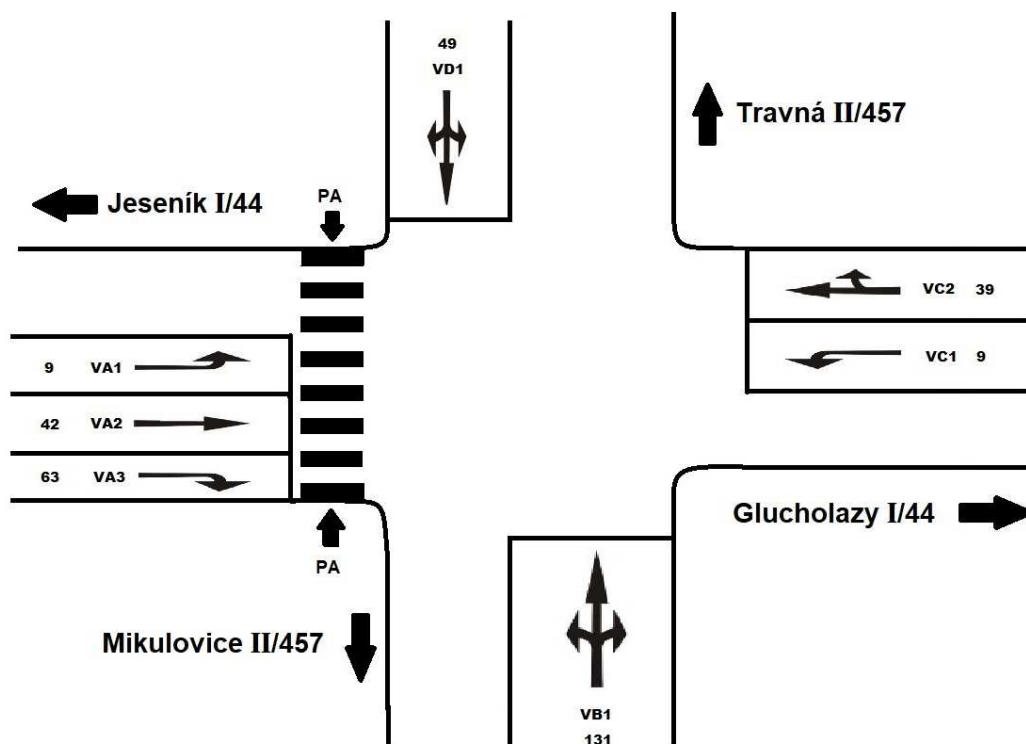
Obr. 4 Křižovatka⁷

Na této křižovatce dochází ke křížení následujících komunikací:

- ulice Nádražní,
- ulice Nádražní,
- ulice Hlavní,
- ulice Hlucholazská.

Provozovatelem dané křižovatky je Ředitelství silnic a dálnic. Silnici I/44 provozuje taktéž Ředitelství silnic a dálnic, provozovatel silnice II/457 je v místě křižovatky Olomoucký kraj. V blízkosti křižovatky (20 m) se nachází železniční přejezd, z tohoto důvodu je zde použito SSZ. Tento železniční přejezd ovlivňuje řízení na křižovatce.

Na obrázku (Obr. 5) je vidět schématický nákres křižovatky.



Obr. 5 Schéma křižovatky

3.2 Popis křižovatky

Hlavní pozemní komunikace Hlavní ve směru od Jeseníku do Glucholaz je rozdělena do třech řadících pruhů. Pruh umožňující odbočení vlevo na ulici Nádražní směrem na Travnou je označen jako „VA1“. K jízdě přímým směrem od Jeseníku do Glucholaz je vytvořen samostatný jízdní pruh označený jako „VA2“. Třetí pruh slouží pro odbočení vpravo na ulici Nádražní směrem do Mikulovic a je označený jako „VA3“. Přes všechna ramena prochází přechod pro chodce označený jako „PA“.

Na tomto rameni křižovatky je světelné zařízení tvořeno dvěma výložníky. Jeden slouží pro odbočení vpravo a pro jízdu přímým směrem. Tento výložník je opatřen čtyřmi návěstidly. Pro proud „VA2“ jsou použita dvě návěstidla, která zobrazují tříbarevné světelné signály se směrovými šipkami sloužící pro jízdu přímým směrem. Pro proud „VA3“ jsou

použita taktéž dvě návěstidla, která zobrazují tříbarevné světelné signály se směrovými šipkami sloužící, pro vozidla odbočující vpravo. Výložník je opatřen svislou dopravní značkou – Hlavní pozemní komunikace (č. P2). Druhý výložník je opatřen dvěma návěstidly se směrovými šipkami, která slouží pro vozidla v proudu „VA1“ odbočující vlevo. Protože se v tomto rameni nachází přechod pro chodce, jsou oba výložníky opatřeny ještě návěstidly pro přecházející chodce. Na obou výložnících je umístěno jedno základní a jedno opakovací návěstidlo vždy pro každý vjezd. Vše je zřetelné z obrázků (*Obr. 6 a Obr. 7*)



*Obr. 6 Pohled na rameno od Jeseníku*⁸



Obr. 7 Pohled na rameno od Glucholaz⁸

Hlavní pozemní komunikace Hlavní ve směru od Glucholaz do Jeseníku je rozdělena do dvou jízdních pruhů. Odbočení vlevo do Mikulovic je umožněno samostatným pruhem, který je označen jako „VC1“. K jízdě přímým směrem do Jeseníku a pro odbočení vpravo směrem na Travnou slouží pruh označen jako „VC2“.

Dané rameno je opatřeno jedním výložníkem, na kterém jsou umístěna čtyři návěstidla. Dvě návěstidla slouží pro vozidla jedoucí přímým směrem do Jeseníku a současně pro vozidla odbočující vpravo na Travnou. Návěstidla tvoří signály tříbarevné soustavy s kombinovaným směrovým signálem pro jízdu přímým směrem a pro odbočení vpravo. Zbývá dvě návěstidla zobrazující tříbarevné signály se směrovými šipkami sloužící pro vozidla odbočující vlevo směrem do Mikulovic. Jelikož se jedná rovněž o hlavní komunikaci, je výložník opatřen svislou dopravní značkou – Hlavní pozemní komunikace (č. P2). Na výložníku je umístěno jedno základní a jedno opakovací návěstidlo pro každý řadící pruh – viz obrázky (*Obr. 8 a Obr. 9*).



Obr. 8 Pohled na rameno od Glucholaz⁸



Obr. 9 Pohled na rameno od Jeseníku⁸

Vedlejší pozemní komunikace Nádražní ve směru z Mikulovic na Travnou umožňuje jízdu třemi směry. Všechny směry jsou zahrnuty v jednom řadícím pruhu, který je označen jako „VB1“. Pruh slouží jak pro odbočení vpravo a vlevo, tak pro jízdu přímým směrem.

Při odbočení vlevo směrem do Jeseníku, musí tato vozidla dávat přednost protijedoucím vozidlům směrem od Travné, která pokračují po ulici Hlavní směrem do Mikulovic.

Na daném rameni se nachází dva výložníky. Na prvním výložníku jsou umístěna dvě návěstidla, jedno základní a jedno opakovací, která jsou opatřena signály třibarevné soustavy s plnými kruhovými světly. Tato návěstidla slouží pro vozidla jedoucí přímým směrem a také pro vozidla odbočující vlevo. Druhý výložník je osazen jedním základním návěstidlem, který je opatřen signály třibarevné soustavy s plnými kruhovými světly, sloužící pro vozidla odbočující vpravo. Protože se jedná o vedlejší komunikaci, je výložník osazen svislou dopravní značkou upravující přednost – Dej přednost v jízdě (č. P4) – viz obrázky (*Obr. 10 a Obr. 11*).



Obr. 10 Pohled na rameno od Mikulovic ⁸



Obr. 11 Pohled na rameno od Travné⁸

Vedlejší pozemní komunikace Nádražní ze směru Travná umožňuje jízdu třemi směry. Jízdní pruh obsahuje všechny tři směry, jak pro jízdu vpravo a vlevo, tak pro jízdu přímým směrem. Jízdní pruh je označen jako „VD1“. Při odbočení vlevo jsou odbočující vozidla povinna dát přednost protijedoucím vozidlům, ze směru od Mikulovic pokračující přímým směrem po ulici Nádražní na Travnou.

Výložník na tomto rameni je osazen čtyřmi návěstidly. Dvě návěstidla jsou opatřena signály tříbarevné soustavy s plnými kruhovými světly. Zbylá dvě návěstidla se směrovými šipkami slouží pro vozidla odbočující vpravo nebo vlevo. Směrové šipky nejsou v provozu, proto s nimi není v návrhu uvažováno. Jedná se o vedlejší komunikaci, proto je výložník osazen svislou dopravní značkou upravující přednost v jízdě – Dej přednost v jízdě (č. P4) – viz obrázky (*Obr. 12* a *Obr. 13*).



Obr. 12 Pohled na rameno od Travné⁸



Obr. 13 Pohled na rameno od Mikulovic⁸

3.3 Údaje zjištěné dopravním průzkumem

V této části práce jsou popsány veličiny získané dopravním průzkumem a jejich následné použití pro návrh signálního plánu. Byl proveden dopravní průzkum za účelem získání těchto hodnot:

- intenzity vozidel jednotlivých dopravních proudů,
- skladba dopravních proudů,
- počet vozidel ve frontě,
- délky zelených.

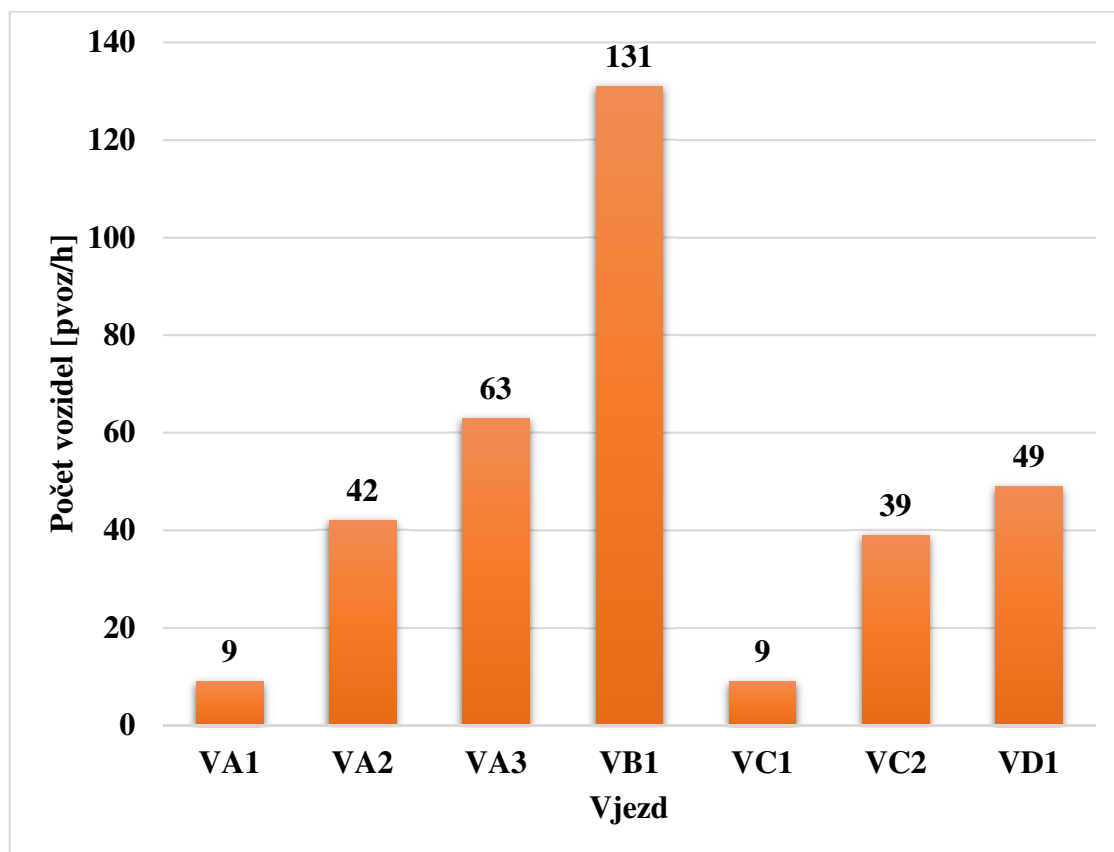
Výše zmíněné hodnoty byly zjištěny pomocí videozáznamu. Videozáznam byl pořízen ve čtvrtek během odpolední špičky, tedy v čase od 14:35 do 15:35. Kamery byly umístěny na dvou ramenech křižovatky. První kamera byla umístěna ve směru od Jeseníku, která snímala pohyb dopravního proudu na ulici Hlavní. Druhá kamera byla umístěna ve směru od Travné, která snímala pohyb dopravního proudu na ulici Nádražní. Z daných záznamů byla následně spočítána skladba dopravních proudů a počet vozidel v jednotlivých vjezdech. Následně byly tyto hodnoty přepočítány na přepočtená vozidla za hodinu. K tomuto přepočtu slouží *Tabulka 1*.

Tabulka 1 Koeficienty skladby dopravního proudu⁹

Druh vozidla	Přepočtový koeficient
Jízdní kolo	0,5
Motocykl	0,8
Osobní vozidlo (včetně nákladních vozidel do hmotnosti 3,5 tuny)	1
Nákladní vozidla nad 3,5 tuny (mimo jízdní soupravy), autobus (mimo kloubové)	1,7
Jízdní souprava, kloubový autobus	2,5

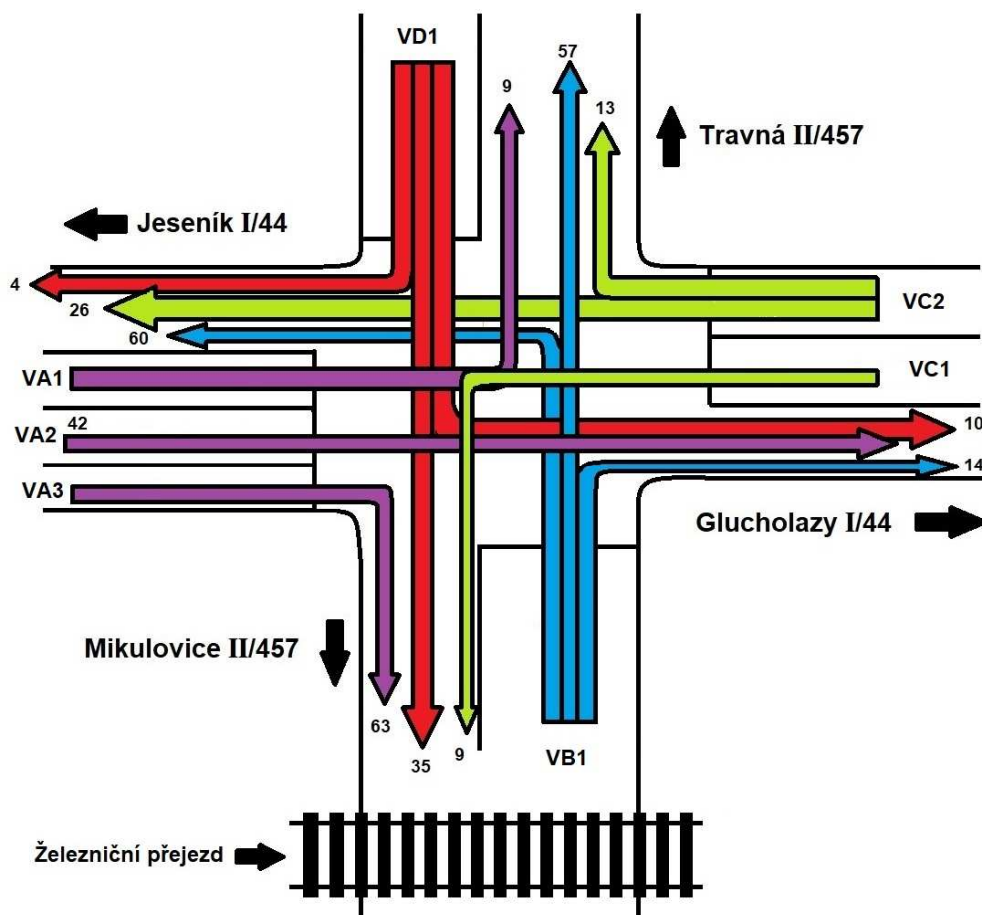
Podle dlouhodobého dopravního průzkumu bylo zjištěno, že intenzita chodců je zanedbatelná.

Hodnoty intenzit pro jednotlivé vjezdy jsou pro větší přehlednost zpracovány do Grafu 1.



Graf 1 Intenzity pro jednotlivé vjezdy

Pro větší přehlednost je přiložen pentlogram, který zobrazuje intenzitu dopravy v jednotlivých směrech – viz obrázek (Obr. 14).



Obr. 14 Pentlogram křižovatky

Na pentlogramu můžeme vidět pohyb dopravního proudu v jednotlivých směrech a intenzity jednotlivých dopravních proudů. Při normálním provozu funguje křižovatka jako klasická světelně řízená křižovatka. Jakmile dojde ke spuštění přejezdového zabezpečovacího zařízení na blízkém železničním přejezdu, zároveň se zastaví proudy ovlivněné železničním přejezdem. Konkrétně jsou to vjezdy VA3, VB1, VC1, VD1. Vypsáné proudy mají návěst „Stůj!“ a ostatní proudy, které nejsou v kolizi, mají návěst „Volno“. Po uvedení zabezpečovacího zařízení do stavu „Volno“, přejde křižovatka zpět do klasického režimu.

4 Návrh světelného řízení

Návrh světelného řízení je zaměřen na zkvalitnění dopravních podmínek na křižovatce. Pro návrh signálního plánu byla vybrána metoda saturovaného toku, kterou se následující kapitola zabývá

Podklady pro návrh

K návrhu signálního plánu SSZ musíme znát následující hodnoty:

- přehledná situace v měřítku 1:2000 až 1:5000 – v této situaci je zahrnuta organizace dopravy a umístění dopravních uzlů na komunikační síti, současná světelná signalizační zařízení,
- podrobná situace v měřítku 1:200 až 1:500 – zobrazuje komunikace (jízdni pruhy) pro motorová vozidla, pohyb chodců a cyklistů, vjezdy, výjezdy, dopravní značení atd.,
- intenzita dopravy a skladba dopravních proudů-hodnoty zjištěné z dopravních průzkumů a z nich vytvořené pentlogramy, intenzity provozu, skladba dopravního proudu, intenzity chodců a cyklistů.¹⁰

Metoda saturovaného toku

Metoda saturovaného toku (Websterova metoda) je založena na stanovení délky cyklu a zelených podle stupně saturace vjezdů v jednotlivých fázích cyklu.⁶

Pro použití metody saturovaného toku, potřebujeme znát následující parametry:

- schéma křižovatky,
- podíl odbočujících vozidel,
- poloměry oblouků,
- intenzitu chodců,
- sklon jednotlivých vjezdů,
- fázové schéma,
- tabulku mezičasů.⁵

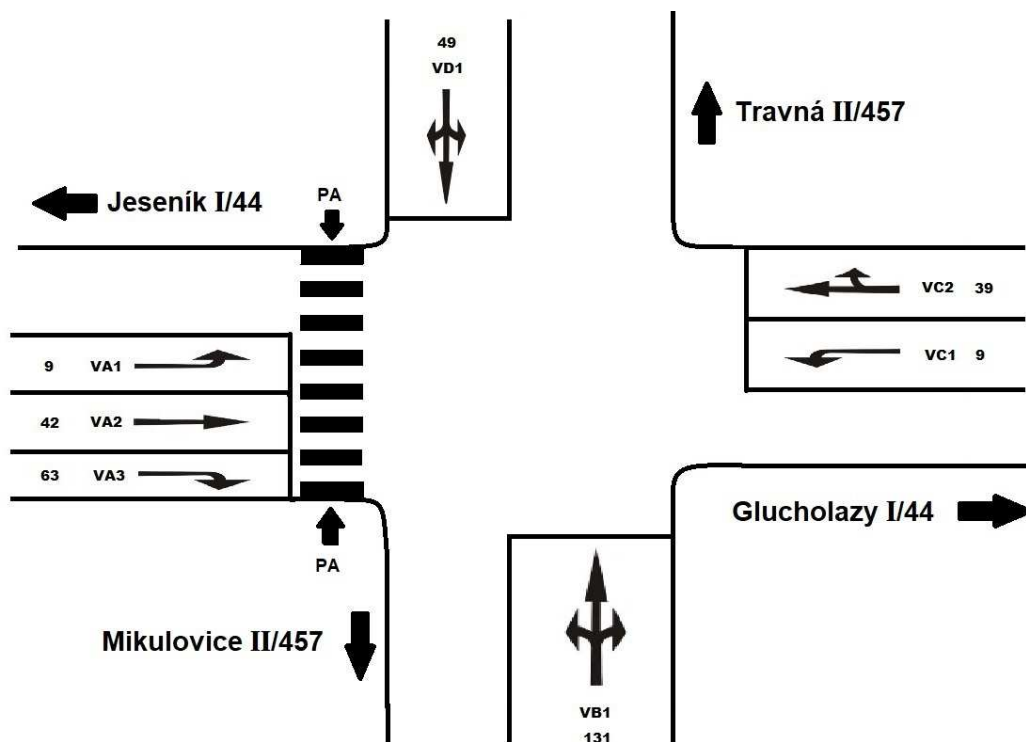
Z výše zmíněných parametrů jsme schopni vypočítat stupně saturace jednotlivých vjezdů a následně celkový stupeň saturace.

4.1 Návrh signálního plánu pro třífázové schéma

Následující kapitola je věnována návrhu signálního plánu pro verzi se třemi fázemi. Dopravní proudy VB1 a VD1 jsou spojeny do jedné fáze.

4.2.1 Schéma křižovatky

Na obrázku (Obr. 15) můžeme vidět směry jednotlivých dopravních proudů a jejich intenzity.



Obr. 15 Schéma křižovatky

4.1.1 Podíl odbočujících vozidel

Podíl odbočujících vozidel v dopravních proudech je znázorněn v Tabulce 2.

Tabulka 2 Podíl odbočujících vozidel

Dopravní proudy	Procento odbočujících vozidel [%]
VB1	57
VC2	33
VD1	29

4.1.2 Poloměry oblouků

V *Tabulce 3* jsou znázorněny poloměry oblouků jednotlivých vjezdů, u vjezdů vedoucích přímým směrem je za poloměr oblouku dosazeno ∞ . U vjezdů VB1 a VD1 jsou dva poloměry, protože se zde nachází pravé i levé odbočení na stejném řadícím pruhu. Pro levé odbočení byla použita fiktivní hodnota poloměru 1,5 m, protože v případě třífázového schématu se jedná o podmíněně kolizní odbočení. U čtyřfázového schématu se použijí reálné poloměry. Pro pravé odbočení byla použita skutečná hodnota poloměru pro VB1 $R = 4,5$ m a pro VD1 $R = 7$ m. Koeficienty oblouku se stanoví pro levé a pravé odbočení zvlášť a při výpočtu se použije nižší hodnota. V mém případě byl použit poloměr oblouku $R = 1,5$ m pro variantu se třemi fázemi.

Tabulka 3 Poloměry oblouků

Vjezd	Poloměr oblouku R[m]	
VA1	12	
VA2	∞	
VA3	10	
VB1	1,5	4,5
VC1	12	
VC2	20	
VD1	1,5	7

V *Tabulce 4* jsou uvedeny koeficienty oblouků, které vychází z poloměrů oblouků jednotlivých vjezdů a vliv má také podíl odbočujících vozidel – viz vzorec 4.1.

Tabulka 4 Koeficienty oblouků

Vjezd	f [-]	R [m]	Kobl [-]
VA1	1,00	12	0,89
VA2	1,00	∞	1,00
VA3	1,00	10	0,87
VB1	0,57	1,5	0,64
VC1	1,00	12	0,89
VC2	0,33	20	0,98
VD1	0,29	1,5	0,78

Příklad výpočtu:

$$k_{obl} = \frac{R}{R+1,5.f} \quad (4.1)$$

Kde: R – poloměr oblouku,

f – podíl odbočujících vozidel.⁶

Dosazení pro vjezd VA1:

$$k_{obl} = \frac{12}{12+1,5.1} = 0,89$$

4.1.3 Sklon jednotlivých vjezdů

Z *Tabulky 5* vyplývá, že kromě vjezdu VD1 jsou ostatní vjezdy vodorovné, proto je u nich uvedena hodnota 0. Výpočet je zřejmý z vzorce 4.2.

Tabulka 5 Sklon vjezdů a koeficient sklonu

Vjezd	α [%]	k_{skl} [-]
VA1	0	1,00
VA2	0	1,00
VA3	0	1,00
VB1	0	1,00
VC1	0	1,00
VC2	0	1,00
VD1	4	0,92

Příklad výpočtu:

$$k_{skl} = 1 - 0,02. \alpha \quad (4.2)$$

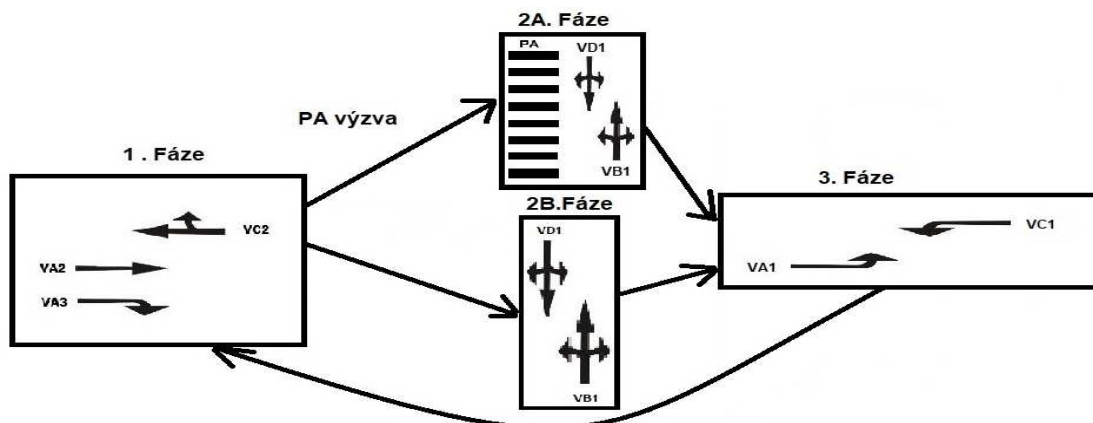
Kde: α – podélný sklon vjezdu.⁶

Dosazení pro vjezd VA1:

$$k_{skl} = 1 - 0,02.0 = 1$$

4.1.4 Fázové schéma

Na obrázku (Obr. 16) je uvedeno současné pořadí fází.



Obr. 16 Třífázové schéma

4.1.5 Tabulka mezičasů

„Mezičas je časový interval od konce signálu volno na návěstidle pro jeden směr po začátek signálu volno na návěstidle pro kolizní směr.“⁵

Mezičasy pro vybranou křižovatku jsou v Tabulce 6.

Tabulka 6 Tabulka mezičasů

Tabulka mezičasů		Najíždějící proudy							
		VA1	VA2	VA3	VB1	VC2	VC1	VD1	PA
Vyklizující proudy	VA1				6	2		5	4
	VA2				4		4	3	4
	VA3				4		4	4	4
	VB1	6	4	4		4	6		
	VC2	5			4			3	7
	VC1		3	2	6			3	
	VD1	6	4	4		4	6		
	PA	13	13	13		9			

4.1.6 Saturovaný tok vjezdu

Saturovaný tok je maximální počet vozidel, která za předpokladu ideálních podmínek mohou projet přes stopčáru za čas. Hodnoty saturovaného toku jsou uvedeny v Tabulce 7. Při výpočtech byla použita hodnota $S_{zákl} = 2000$ pvoz/h. Udává se v přepočtených vozidlech za hodinu [pvoz/h].⁶

Tabulka 7 Saturované toky jednotlivých vjezdů

Vjezd	I [pvoz/h]	k _{skl} [-]	k _{obl} [-]	S _v [pvoz/h]
VA1	9	1,00	0,89	1780
VA2	42	1,00	1,00	2000
VA3	63	1,00	0,87	1740
VB1	131	1,00	0,64	1280
VC1	9	1,00	0,89	1780
VC2	39	1,00	0,98	1960
VD1	47	0,92	0,78	1435

Příklad výpočtu:

$$S_v = S_{zákl} \cdot k_{skl} \cdot k_{obl} \quad (4.3)$$

Kde: S_v – saturovaný tok vjezdu,

$S_{zákl}$ – základní saturovaný tok,

k_{skl} – koeficient sklonu,

k_{obl} – koeficient oblouku.⁶

Dosazení pro vjezd VA1:

$$S_v = 2000 \cdot 1,0 \cdot 0,89 = 1780 \text{ pvoz/h}$$

4.1.7 Stupeň saturace

Stupeň saturace bylo nutno spočítat pro každý vjezd, kde se nachází automobilová doprava. Stupně saturace jednotlivých vjezdů jsou uvedeny v *Tabulce 8*.

Tabulka 8 Stupně saturace

Vjezd	I [pvoz/h]	S _v [pvoz/h]	y [-]
VA1	9	1780	0,005
VA2	42	2000	0,021
VA3	63	1740	0,036
VB1	131	1280	0,102
VC1	9	1780	0,005
VC2	39	1960	0,020
VD1	47	1435	0,033

Příklad výpočtu:

$$y = \frac{I}{S_v} \quad (4.4)$$

Kde: y – stupeň saturace,

S_v – saturovaný tok vjezdu.⁶

Dosazení pro vjezd VA1:

$$y = \frac{I}{S_v} = \frac{9}{1780} = 0,005$$

4.1.8 Určení kritických vjezdů

Určení kritických vjezdů spočívalo v tom, že v každé fázi byl vybrán vjezd s nejvyšším stupněm saturace. Tento vjezd byl brán jako kritický a podle těchto byl signální plán vytvářen.

Tabulka 9 Kritické vjezdy

Vjezd	Fáze	y [-]
VA1	3	0,005
VA2	1	0,021
VA3	1	0,036
VB1	2	0,102
VC1	3	0,005
VC2	1	0,020
VD1	2	0,033

Pro fázi 1:

$$y_{krit} = 0,036 \quad (4.5)$$

Stupně saturace u kritických vjezdů byly sečteny a tím byl získán celkový stupeň saturace Y . Celkový stupeň saturace je definován vztahem:

$$Y = \sum_{i=1}^n y_{krit_i} \quad (4.6)$$

Kde: Y – celkový stupeň saturace,

y_{krit} – stupeň saturace kritického vjezdu,

n – počet fází,

i – index fáze.⁶

Příklad výpočtu:

$$Y = \sum_{i=1}^n y_{krit,i} = 0,005 + 0,036 + 0,102 = 0,143$$

Pro další postup musí být splněna podmínka $Y < 1$. V dané křižovatce je hodnota celkového stupně saturace 0,143, takže byla podmínka splněna.

4.1.9 Mezičasy mezi fázemi

Podle tabulky mezičasů byly vytvořeny fázové přechody mezi jednotlivými fázemi. Z tabulky byly vybrány hodnoty mezičasů při přechodu z jedné fáze do druhé, z těchto časů byly vybrány rozhodující mezičasy $t_{m,r}$, což jsou maximální hodnoty mezičasů (viz *Tabulka 10*).

Tabulka 10 Rozhodující mezičasy

Fázové přechody	Rozhodující mezičas $t_{m,r}$ [s]
1 → 2	$\max\{4;3\} = 4$
2 → 1	$\max\{4\} = 4$
1 → 3	$\max\{4\} = 4$
3 → 1	$\max\{2;3\} = 3$
2 → 3	$\max\{6\} = 6$
3 → 2	$\max\{6;5;3\} = 6$

Následně byly vytvořeny možné sledy fází a sečteny hodnoty mezičasů při přechodech mezi jednotlivými fázemi. Pro návrh signálního plánu byl vybrán sled fází s nejnižším součtem rozhodujících mezičasů $t_{m,r}$.

Tabulka 11 Součet rozhodujících mezičasů

1.	1	→	2	→	3	→	1	13 s
2.	1	→	3	→	2	→	1	14 s

Z výše uvedené tabulky byl vybrán sled fází uvedený jako č. 1. V *Tabulce 12* jsou uvedeny hodnoty rozhodujících mezičasů, které tvoří tento fázový přechod.

Tabulka 12 Součet mezičasů pro vybraný sled fází

Fázový přechod	Rozhodující mezičas $t_{m,r}$ [s]
1 → 2	4
2 → 3	6
3 → 1	3
Suma	13

Byl vypočítán ztrátový čas ve fázi L [s]. Výpočet byl proveden pomocí vzorce č. 4.7.

Příklad výpočtu:

$$L = \sum_{i=1}^n t_{m,ri} - n \quad (4.7)$$

Kde: L – ztrátový čas

n – počet fází,

i – index fáze,

$t_{m,ri}$ – rozhodující mezičas.⁶

$$L = 13 - 3 = 10 \text{ s}$$

Výpočet délky optimálního cyklu c_{opt} [s].

Příklad výpočtu:

$$c_{opt} = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y} \quad (4.8)$$

Kde: c_{opt} – délka optimálního cyklu,

L – ztrátový čas,

Y – celkový stupeň saturace.⁶

$$c_{opt} = \frac{1,5 \cdot 10 + 5}{1 - 0,160} = 23,34 \text{ s}$$

$$0,75 \cdot c_{opt} < t_c < 1,5 \cdot c_{opt} \quad (4.9)$$

Kde: t_c – délka skutečného cyklu,

c_{opt} – délka optimálního cyklu.⁶

$$t_c \in (18; 35) \text{ s} \Rightarrow t_c = 30 \text{ s}$$

Délku skutečného cyklu je možno zvolit v intervalu (18;35) s. Minimální délka cyklu je 30 s, doporučená délka cyklu by měla být od 50 do 80 s. Maximální délka cyklu je maximálně 100 s. V mém případě byla zvolena délka cyklu 30 s.⁵

4.1.10 Tvorba signálního plánu

Pro vjezdy, které mají v jednotlivých fázích nejvyšší stupeň saturace, je nutno určit délku zelené. Od této délky zelené se odvíjí doba zelené v jednotlivých fázích. Délky zelených pro kritické vjezdy jsou nezbytné pro tvorbu signálního plánu.

Tabulka 13 Délky zelených pro kritické vjezdy

Kritický vjezd	Fáze	$y_{krit,i}$ [-]	z_i [s]	Použité
VA1	3	0,005	-0,301	5 s
VA3	1	0,036	4,035	5 s
VB1	2	0,102	13,266	13 s

Příklad výpočtu:

$$z_i = \frac{y_{krit} \cdot (t_c - L)}{Y} - 1 \quad (4.10)$$

Kde: z_i – délka zelené pro kritický vjezd,

y_{krit} – stupeň saturace kritického vjezdu,

t_c – délka skutečného cyklu,

L – ztrátový čas,

Y – celkový stupeň saturace.⁶

Výpočet pro kritický vjezd VA1 ve fázi 3:

$$z_i = \frac{0,006 \cdot (30 - 10)}{0,143} - 1 = -0,301 \text{ s}$$

V *Tabulce 13* jsou v posledním sloupci s názvem „Použité“ uvedeny délky zelených, které byly použity pro tvorbu signálního plánu. Doba zelené pro vjezd VA1 musela být prodloužena na minimální délku zeleného signálu, což je 5 s. Délka zelené pro vjezd VA3 byla rovněž prodloužena na minimální hodnotu 5 s a pro vjezd VB1 byla zaokrouhlena na hodnotu 13 s.

Pro tvorbu signálního plánu je nezbytné mít tabulku, kde jsou zahrnuty mezičasy. Kvůli lepší přehlednosti byla vytvořena *Tabulka 14*, ve které je vše přehledně znázorněno.

Tabulka 14 Mezičasy jednotlivých fází

Vyklizuje	Najíždí	Mezičas [s]
VA2	VB1	4
	VD1	3
	PA	4
VA3	VB1	4
	VD1	4
	PA	4
VC2	VB1	4
	VD1	3
	PA	7
VB1	VA1	6
	VC1	6
VD1	VA1	6
	VC1	6
PA	VA1	13
	VC1	-
VA1	VA2	-
	VA3	-
	VC2	2
VC1	VA2	3
	VA3	2
	VC2	-

Můžeme se přesunout k tvorbě samotného signálního plánu. Princip spočívá v tom, že nejdříve vyplníme délky zelených jednotlivých fází, důležité je dodržení mezičasů uvedených *Tabulce 14*. Z této tabulky můžeme ještě zjistit, jestli není možné některé

délky zelených prodloužit. V našem případě lze prodloužit dobu zelené u vjezdu VA1 o 1 s a u vjezdů VA2 a VA3 došlo k prodloužení o 3 s (prodloužení je v *Obr. 17* vyznačeno jiným barevným odstínem). Oproti vypočtené délce cyklu 30 s, došlo k navýšení délky celého cyklu na 41 s. Důvodem bylo prodloužení doby zelené u vjezdu VA1 na minimální dobu zelené 5 s a následnému prodloužení o 1 s. Do signálního plánu byl navíc přidán signál pro chodce PA, čímž také došlo k prodloužení vlivem dodržení stanovených mezičasů. Následně přidáme před každý zelený signál žlutočervený signál o délce 2 s a žlutý signál o délce 3 s za každý zelený signál. Signální plán je uveden na obrázku (*Obr. 17*). Následně je na obrázku (*Obr. 18*) signální plán, kde není zařazen přechod pro chodce, vlivem odebrání signálu pro chodce došlo ke snížení délky cyklu o 5 s. V kapacitním posouzení je počítáno s případem, kde je zařazen zelený signál PA pro chodce. Zařazením zeleného signálu PA pro chodce, dochází ke snížení kapacity.

Obr. 17 Signální plán

SIGPLAN1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
VA2	1																																									
VA3	1																																									
VC2	1																																									
PA	2																																									
VB1	2																																									
VD1	2																																									
VA1	3																																									
VC1	3																																									

SIGPLAN2		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
VA2	1																																				
VA3	1																																				
VC2	1																																				
PA	2																																				
VB1	2																																				
VD1	2																																				
VA1	3																																				
VC1	3																																				

Obr. 18 Signální plán bez přechodu pro chodce

V *Tabulce 15* jsou uvedeny všechny hodnoty, které byly použity pro návrh signálního plánu.

Tabulka 15 Celková tabulka

Vjezd	Fáze	α [%]	k_{skl} [-]	R [m]	f [-]	k_{obl} [-]	S_v [pvoz/h]	I [pvoz/h]	y [-]	z_i [s]
VA1	3	0	1,0	12	1,00	0,89	1780	9	0,006	5
VA2	1	0	1,0	∞	1,00	1,00	2000	42	0,023	-
VA3	1	0	1,0	10	1,00	0,87	1740	63	0,040	5
VB1	2	0	1,0	1,5	0,57	0,64	1280	131	0,114	13
VC1	3	5	1,0	12	1,00	0,89	1780	9	0,006	-
VC2	1	5	1,0	20	0,33	0,98	1960	39	0,022	-
VD1	2	4	0,9	1,5	0,29	0,78	1435	47	0,042	-
Y	0,143									
C_{opt}	23,34									
L	10									
t_c	30									

4.1.11 Kapacitní posouzení

Slouží ke zhodnocení funkčnosti křižovatky v provozu a určení úrovně kvality dopravy.

Nejprve byly stanoveny efektivní délky zelených z' [s], dle normy TP235. Efektivní délka se odvíjí od délky zelené z [s] pro jednotlivé fáze signálního plánu.

$$\begin{aligned}
 z = 5 \div 7 \text{ s} &\Rightarrow z' = z + 1,0 \\
 z = 8 \div 10 \text{ s} &\Rightarrow z' = z + 0,5 \\
 z \geq 11 \text{ s} &\Rightarrow z'
 \end{aligned}
 \tag{4.11}$$

Kde: z' - efektivní délka zelené.⁹

Efektivní délky jednotlivých zelených z jsou uvedeny v *Tabulce 16*.

Tabulka 16 Efektivní délky zelených

Vjezd	Fáze	z [s]	z' [s]
VA1	3	6	7,0
VA2	1	8	8,5
VA3	1	8	8,5
VB1	2	13	13,0
VC1	3	5	6,0
VC2	1	5	6,0
VD1	2	13	13,0

V *Tabulce 17* jsou uvedeny hodnoty saturevaného toku, které byly použity pro výpočet kapacitního posouzení

Tabulka 17 Saturevaný tok vjezdu

Vjezd	k_{skl} [-]	k_{obl} [-]	S_v [pvoz/h]
VA1	1,0	0,89	1780
VA2	1,0	1,00	2000
VA3	1,0	0,87	1740
VB1	1,0	0,64	1280
VC1	1,0	0,89	1780
VC2	1,0	0,98	1960
VD1	0,8	0,78	1248

Výpočet saturevaného toku byl proveden v návrhové části podle vzorce č. (4.3).

Výpočet kapacity vjezdu c_v [pvoz/h]. Hodnoty kapacit jednotlivých vjezdů jsou uvedeny v *Tabulce 18*.

Tabulka 18 Kapacita vjezdu

Vjezd	S_v [pvoz/h]	z' [s]	C_v [pvoz/h]
VA1	1780	7,0	415
VA2	2000	8,5	567
VA3	1740	8,5	493
VB1	1280	13,0	555
VC1	1780	6,0	356
VC2	1960	6,0	392
VD1	1248	13,0	541

Příklad výpočtu:

$$c_v = S_v \cdot \frac{z'}{t_c} \quad (4.13)$$

Kde: c_v – kapacita vjezdu,

S_v – saturevaný tok vjezdu,

z' – efektivní délka zelené,

t_c – délka skutečného cyklu.⁹

Dosazení pro vjezd VA1 pro $z' = 7$ s:

$$c_v = S_v \cdot \frac{z'}{t_c} = 1780 \cdot \frac{7}{30} = 415 \text{ pvoz/h}$$

Výpočet rezervy kapacity vjezdu R_{ez} [%]. Hodnoty pro jednotlivé vjezdy jsou uvedeny v *Tabulce 19*.

Tabulka 19 Rezerva kapacity vjezdů

Vjezd	I [pvoz/h]	C _v [pvoz/h]	R _{ez} [%]
VA1	9	415	98
VA2	42	567	93
VA3	63	493	87
VB1	131	555	76
VC1	9	356	97
VC2	39	392	90
VD1	47	541	91

Příklad výpočtu:

$$R_{ez} = \left(1 - \frac{I_v}{c_v}\right) \cdot 100 \quad (4.14)$$

Kde: R_{ez} – rezerva kapacity vjezdu,

c_v – kapacita vjezdu,

I_v – návrhová intenzita dopravy na vjezdu.⁹

Dosazení pro vjezd VA1 pro $c_v = 415$ pvoz/h:

$$R_{ez} = \left(1 - \frac{I_v}{c_v}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{9}{415}\right) \cdot 100 = 97,83 \div 98 \%$$

Pokud je $R_{ez} \leq 0$ hodnotíme úroveň dopravy jako F.

V *Tabulce 20* jsou uvedeny hodnoty střední doby zdržení na vjezdu t_w [s], výpočet je uveden pod tabulkou.

Tabulka 20 Střední doby zdržení

Vjezd	I [pvoz/h]	C _v [pvoz/h]	z' [s]	t _w [s]
VA1	9	415	7,0	8
VA2	42	567	8,5	7
VA3	63	493	8,5	8
VB1	131	555	13,0	6
VC1	9	356	6,0	9
VC2	39	392	6,0	9
VD1	47	541	13,0	5

Příklad výpočtu:

$$t_w = 0,45 \cdot \left[\frac{(t_c - z')^2 \cdot c_v}{c_v \cdot t_c - I_v \cdot z'} + \frac{3600 \cdot I_v}{c_v^2 - I_v \cdot c_v} \right] \quad (4.15)$$

Kde: t_w – střední doba zdržení na vjezdu,

t_c – délka cyklu,

z' – efektivní délka zelené,

c_v – kapacita vjezdu,

I_v – návrhová intenzita dopravy na vjezdu.⁹

Dosazení pro vjezd VA1 pro $c_v = 415$ pvoz/h:

$$t_w = 0,45 \cdot \left[\frac{(30 - 7)^2 \cdot 415}{415 \cdot 30 - 9 \cdot 7} + \frac{3600 \cdot 9}{415^2 - 9 \cdot 415} \right] = 8 \text{ s}$$

Úroveň kvality dopravy se posuzuje pro jednotlivé vjezdy v závislosti na střední době zdržení t_w [s]. Dle normy ČSN 73 6102: Projektování křižovatek na pozemních komunikacích platí, že pro dálnice a silnice I. třídy může být nejhorší úroveň C. Z *Tabulky 21* je zřejmé, že v mém případě je tato podmínka splněna. Všechny vjezdy splňují úroveň A.

Tabulka 21 Úroveň kvality dopravy

Vjezd	t_w [s]	Střední doba zdržení t_w [s]	Charakteristika kvality dopravy	Označení
VA1	8	≤ 20	velmi dobrá	A
VA2	7	≤ 20	velmi dobrá	A
VA3	8	≤ 20	velmi dobrá	A
VB1	6	≤ 20	velmi dobrá	A
VC1	9	≤ 20	velmi dobrá	A
VC2	9	≤ 20	velmi dobrá	A
VD1	5	≤ 20	velmi dobrá	A

Výpočet délky fronty na vjezdu L_f [s] je uveden pod Tabulkou 22, ve které jsou zpracovány vypočtené hodnoty.

Tabulka 22 Délka fronty na vjezdu

Vjezd	I [pvoz/h]	C_v [pvoz/h]	z' [s]	L_f [m]
VA1	9	415	7,0	0,345
VA2	42	567	8,5	0,753
VA3	63	493	8,5	1,129
VB1	131	555	13,0	3,712
VC1	9	356	6,0	0,360
VC2	39	392	6,0	1,560
VD1	47	541	13,0	1,332

Příklad výpočtu:

$$L_f = 6,0 \cdot \frac{(t_c - z') \cdot I_v}{n_p \cdot 3600} \quad (4.16)$$

Kde: L_f – délka fronty,

t_c – délka skutečného cyklu,

z' – efektivní délka zelené,

I_v – návrhová intenzita dopravy na vjezdu,

n_p – počet řadících pruhů, které společně tvoří jeden vjezd.⁹

Dosazení pro vjezd VA1 pro $c_v = 415$ pvoz/h:

$$L_f = 6,0 \cdot \frac{(30-7) \cdot 9}{1.3600} = 0,345 \text{ m}$$

Vypočtené hodnoty kapacitního posouzení jsou pro lepší přehlednost uvedeny v *Tabulce 23*.

Tabulka 23 Celková tabulka

Vjezd	Fáze	z [s]	z' [s]	I [pvoz/h]	S _v [pvoz/h]	C _v [pvoz/h]	R _{ez} [%]	t _w [s]	ÚKD	L _f [m]
VA1	3	6	7	9	1780	415	98	8	A	0,345
VA2	1	8	9	42	2000	567	93	7	A	0,753
VA3	1	8	9	63	1740	493	87	8	A	1,129
VB1	2	13	13	131	1280	555	76	6	A	3,712
VC1	3	5	6	9	1780,00	356	97	9	A	0,360
VC2	1	5	6	39	1960,00	392	90	9	A	1,560
VD1	2	13	13	47	1248,00	541	91	5	A	1,332

Uvedené kapacitní posouzení nezohledňuje situaci, když je spuštěno přejezdové signalizační zařízení. Této problematice je věnovaná samostatná kapitola.

4.2 Návrh signálního plánu s výhledovými intenzitami pro rok 2045

Výhledové intenzity byly určeny pomocí technických podmínek TP 225. Pro výpočty byl stanoven výhledový rok 2045. Následně byly zjištěny vhodné přepočtové koeficienty k vypočtení výhledových intenzit. Vhodné intenzity se nachází v tabulkách pro Olomoucký kraj na silnici I. třídy, která je vzdálená od krajského města více než 20 km. Přepočtové koeficienty jsou uvedeny v tabulkách na obrázcích (*Obr. 19, Obr. 20, Obr. 21*).

A - Osobní vozidla

kategorie silnice		dálnice		I. třída		II. Třída		III. Třída	
vzdál. od kr. města		do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km
časový horizont	2016	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2020	1,08	1,07	1,09	1,08	1,09	1,08	1,09	1,08
	2025	1,16	1,15	1,17	1,15	1,17	1,15	1,17	1,15
	2030	1,22	1,21	1,24	1,21	1,23	1,20	1,24	1,21
	2035	1,26	1,25	1,28	1,24	1,27	1,23	1,27	1,24
	2040	1,28	1,26	1,30	1,25	1,28	1,24	1,29	1,24
	2045	1,28	1,26	1,30	1,25	1,28	1,23	1,28	1,23
	2050	1,27	1,25	1,29	1,23	1,27	1,21	1,27	1,22
	2055	1,26	1,24	1,28	1,21	1,25	1,19	1,25	1,19

Obr. 19 Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro osobní vozidla¹¹

B - Lehká nákladní vozidla

kategorie silnice		dálnice		I. třída		II. Třída		III. Třída	
vzdál. od kr. města		do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km
časový horizont	2016	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2020	1,12	1,05	1,13	1,12	1,13	1,12	1,13	1,12
	2025	1,26	1,10	1,27	1,25	1,26	1,24	1,26	1,25
	2030	1,38	1,16	1,38	1,36	1,37	1,35	1,37	1,36
	2035	1,45	1,20	1,46	1,43	1,44	1,41	1,45	1,42
	2040	1,51	1,23	1,52	1,48	1,50	1,46	1,51	1,47
	2045	1,55	1,27	1,57	1,53	1,55	1,49	1,56	1,51
	2050	1,59	1,29	1,61	1,56	1,58	1,51	1,59	1,53
	2055	1,61	1,30	1,63	1,57	1,60	1,52	1,61	1,54

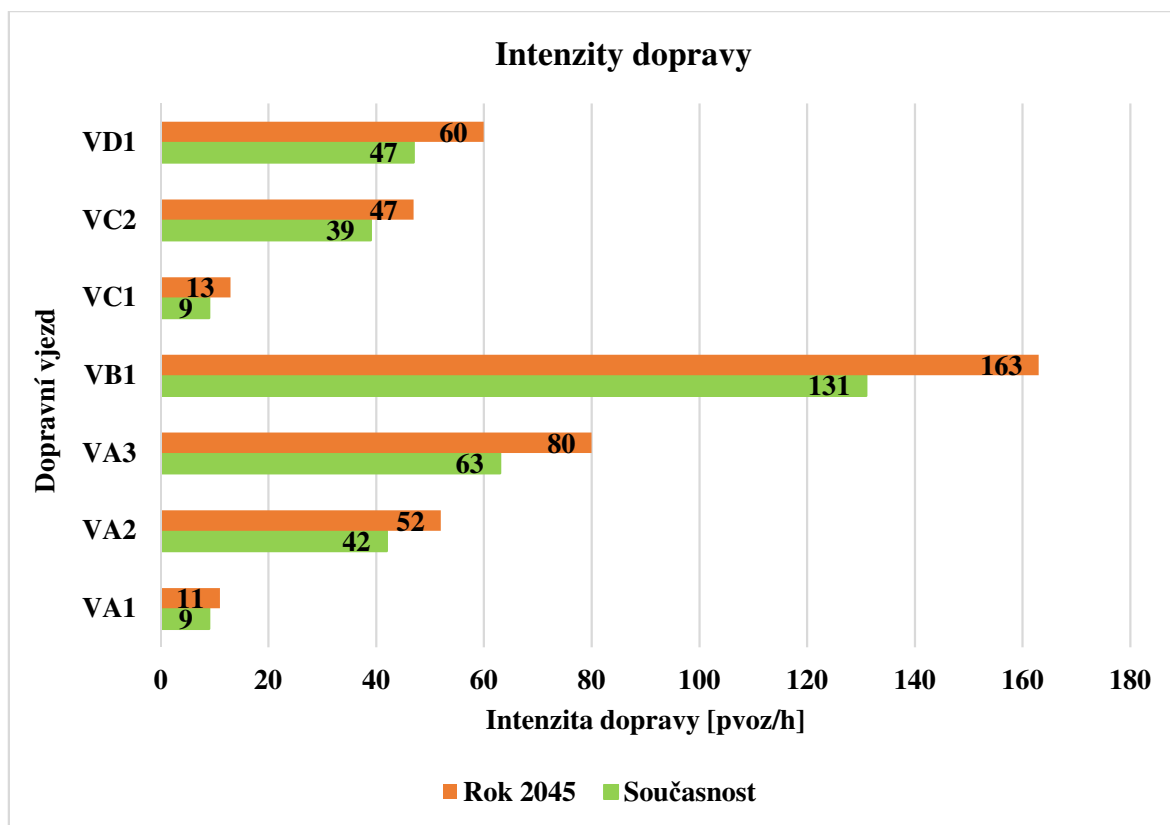
Obr. 20 Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro lehká nákladní vozidla¹¹

C - Těžká vozidla

kategorie silnice		dálnice		I. třída		II. Třída		III. Třída	
vzdál. od kr. města		do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km	do 20 km	nad 20 km
časový horizont	2016	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2020	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04
	2025	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08	1,09	1,08
	2030	1,15	1,16	1,15	1,13	1,13	1,12	1,13	1,12
	2035	1,19	1,20	1,18	1,17	1,16	1,15	1,17	1,15
	2040	1,23	1,23	1,21	1,19	1,19	1,17	1,19	1,17
	2045	1,26	1,27	1,24	1,21	1,21	1,18	1,22	1,18
	2050	1,28	1,29	1,26	1,23	1,23	1,19	1,23	1,19
	2055	1,29	1,30	1,27	1,23	1,23	1,19	1,24	1,20

Obr. 21 Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro těžká nákladní vozidla¹¹

Pro přehlednost, o kolik se změní hodnoty intenzit v roce 2045, byla data zpracována do Grafu 2, který je uveden níže.



Graf 2 Porovnání současných a výhledových intenzit

Protože došlo ke zvýšení intenzit dopravy, bylo nutné provést všechny výpočty znovu. Vzorce pro výpočty zůstaly stejné jako v předchozím případě, proto je uvedena pouze tabulka s výslednými hodnotami, které byly použity pro návrh signálního plánu. Vypočtené hodnoty pro rok 2045 jsou uvedeny v *Tabulce 24*.

Tabulka 24 Celková tabulka s výpočty pro rok 2045

Vjezd	Fáze	α [%]	k_{skl} [-]	R [m]	f [-]	k_{obl} [-]	S_v [pvoz/h]	I [pvoz/h]	y [-]	z_i [s]
VA1	3	0	1,0	12	1	0,89	1602	11	0,007	5
VA2	1	0	1,0	∞	1	1,00	1800	52	0,029	-
VA3	1	0	1,0	10	1	0,87	1566	80	0,051	5
VB1	2	0	1,0	1,5	1	0,64	1152	163	0,141	17
VC1	3	5	1,0	12	1	0,89	1602	12	0,007	-
VC2	1	5	1,0	20	0,33	0,98	1764	48	0,027	-
VD1	2	4	0,9	1,5	0,29	0,78	1292	60	0,046	-
Y	0,179									
C_{opt}	24,36									
L	10									
t_c	35									

Výsledný signální plán pro výhledové intenzity na 2045 je uveden na obrázku (*Obr. 22*). Oproti současnému stavu došlo k prodloužení cyklu na 45 s. Vlivem nízkých současných intenzit dopravy, došlo pouze k minimálnímu navýšení a tudíž se cyklus prodloužil pouze o 4 s.

Dále je na obrázku (*Obr. 23*) uveden signální plán, ve kterém není zařazen zelený signál PA pro chodce, odebráním signálu pro chodce došlo ke zkrácení délky cyklu o 5 s.

SIGPLAN3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
VA2	1																																												
VA3	1																																												
VC2	1																																												
PA	2																																												
VB1	2																																												
VD1	2																																												
VA1	3																																												
VC1	3																																												

Obr. 22 Signální plán pro rok 2045

SIGPLAN4		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
VA2	1																																								
VA3	1																																								
VC2	1																																								
PA	2																																								
VB1	2																																								
VD1	2																																								
VA1	3																																								
VC1	3																																								

Obr. 23 Signální plán pro rok 2045 bez přechodu pro chodce

4.2.1 Kapacitní posouzení

Pro výpočet saturovaného toku vjezdu byla použita hodnota $S_{zákl} = 2000$ pvoz/h. Hodnota byla použita podle TP 235, je možné, že v roce 2045 bude tato hodnota zcela odlišná.

Tabulka 25 Tabulka kapacitního posouzení pro výhledové intenzity v roce 2045

Vjezd	Fáze	z [s]	z' [s]	I [pvoz/h]	S _v [pvoz/h]	C _v [pvoz/h]	R _{ez} [%]	t _w [s]	ÚKD	L _f [m]
VA1	3	6	7,0	11	1780	356	97	10	A	0,5
VA2	1	8	8,5	52	2000	486	89	10	A	1,1
VA3	1	8	8,5	80	1740	423	81	10	A	1,8
VB1	2	17	17,0	163	1280	622	74	6	A	4,9
VC1	3	5	6,0	12	1780	305	96	11	A	0,6
VC2	1	5	6,0	48	1960	336	86	12	A	2,3
VD1	2	17	17,0	60	1248	606	90	5	A	1,8

V Tabulce 25 jsou uvedeny rezervy kapacity R_{ez} pro jednotlivé vjezdy. Hodnota musí splňovat podmínku $R_{ez} > 0$, v případě, že není podmínka splněna hodnotíme úroveň jako F. Tato podmínka je splněna i pro rok 2045.

Úroveň kvality dopravy posuzujeme v závislosti na střední době zdržení t_w [s] pro jednotlivé vjezdy. Dle normy ČSN 73 6102: Projektování křižovatek na pozemních komunikacích platí, že pro dálnice a silnice I. třídy může být nejhorší úroveň C. Z Tabulky 25 je zřejmé, že v mém případě byla tato podmínka splněna i pro výhledové intenzity. Střední doba zdržení t_w nepřekročí hodnotu 20 s, tudíž je na všech vjezdech úroveň dopravy A.

4.3 Návrh signálního plánu pro čtyřfázové schéma

Jako další varianta signálního plánu byla zpracována verze, kdy je pohyb dopravních proudů VB1 a VD1 rozdělen do samostatných fází.

Tuto variantu je možné použít při zvýšení intenzit vlevo odbočujících vozidel ve vjezdech VB1 či VD1, čímž by mohlo docházet ke zhoršení plynulosti dopravy.

Kvůli zestručnění jsou uvedeny pouze hodnoty, u kterých došlo ke změnám oproti současnému stavu. Vlivem rozdělení 2. fáze do dvou samostatných, již není levé odbočení podmíněně kolizní. Z tohoto důvodu byly pro výpočet

použity reálné poloměry oblouků pro levé a pravé odbočení. Po dosazení do vzorce č. 4.1 a vypočtení koeficientů oblouku, byla pro výpočet použita nižší hodnota k_{obl} . V mém případě se jedná o poloměr oblouku $R = 4,5$ pro VB1 a poloměr oblouku $R = 7$ m pro VD1. V *Tabulce 26* jsou použité hodnoty zvýrazněny červenou barvou.

Tabulka 26 Poloměr oblouku

Vjezd	Poloměr oblouku R[m]	
VA1	12	
VA2	∞	
VA3	10	
VB1	4,5	18
VC1	12	
VC2	20	
VD1	7	28

V *Tabulce 27* jsou uvedeny mezičasy pro čtyřfázové schéma.

Tabulka 27 Tabulka mezičasů

Tabulka mezičasů		Najíždějící proudy							
		VA1	VA2	VA3	VB1	VC2	VC1	VD1	PA
Vyklizující proudy	VA1				6	2		5	4
	VA2				4		4	3	4
	VA3				4		4	4	4
	VB1	6	4	4		4	6	4	
	VC2	5			4			3	7
	VC1		3	2	6			3	
	VD1	6	4	4	5	4	6		11
	PA	13	13	13		9		10	

Do tabulky mezičasů byly doplněny mezičasy pro dopravní proudy VB1, VD1 a přechod pro chodce PA, proto jsou v tabulce zvýrazněny červenou barvou.

Kvůli přidání další fáze, došlo k navýšení počtu kritických vjezdů, v *Tabulce 28* jsou uvedeny stupně saturace jednotlivých vjezdů. Kritický vjezd je vjezd s nejvyšším stupněm saturace v každé fázi. Kritické vjezdy jsou v tabulce zvýrazněny červenou barvou.

Tabulka 28 Určení kritických vjezdů

Vjezd	Fáze	y [-]
VA1	3	0,005
VA2	1	0,021
VA3	1	0,036
VB1	2	0,078
VC1	3	0,005
VC2	1	0,02
VD1	4	0,027

Celkový stupeň saturace Y byl získán součtem stupně saturace u kritických vjezdů. Výpočet byl proveden podle vzorce č. 4.6.

Podle tabulky mezičasů byly vytvořeny fázové přechody mezi jednotlivými fázemi. Veškeré možné přechody jsou uvedeny v Tabulce 29.

Tabulka 29 Rozhodující mezičasy

Fázové přechody	Rozhodující mezičas $t_{m,r}$ [s]
1 → 2	$\max\{4\} = 4$
2 → 1	$\max\{4\} = 4$
1 → 3	$\max\{4;5\} = 5$
3 → 1	$\max\{2;3\} = 3$
2 → 3	$\max\{6\} = 6$
3 → 2	$\max\{6\} = 6$
1 → 4	$\max\{3;4\} = 4$
4 → 1	$\max\{4\} = 4$
2 → 4	$\max\{4\} = 4$
4 → 2	$\max\{5\} = 5$
3 → 4	$\max\{5;3\} = 5$
4 → 3	$\max\{6\} = 6$

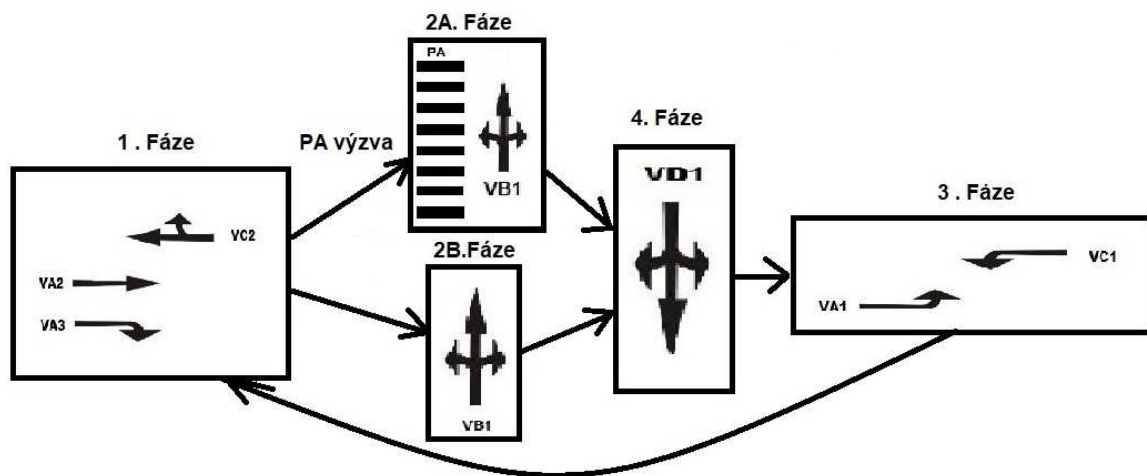
Byly vytvořeny možné sledy fází a sečteny hodnoty mezičasů při přechodech mezi jednotlivými fázemi. Pro návrh signálního plánu byl vybrán sled fází s nejnižším součtem rozhodujících mezičasů $t_{m,r}$.

Tabulka 30 Součet rozhodujících mezičasů

1.	1	→	2	→	3	→	4	→	1	19 s
2.	1	→	3	→	4	→	2	→	1	19 s
3.	1	→	4	→	3	→	2	→	2	20 s
4.	1	→	4	→	2	→	3	→	3	18 s
5.	1	→	2	→	4	→	3	→	1	17 s
6.	1	→	3	→	2	→	4	→	1	19 s

Z Tabulky 30 byl vybrán sled fází uvedený jako č. 5.

Zvolené pořadí a schéma je vyobrazeno na obrázku (Obr. 24)



Obr. 24 Schéma a pořadí fází

V Tabulce 31 je uveden součet mezičasů pro zvolený sled fází.

Tabulka 31 Součet mezičasů pro vybraný sled fází

Fázový přechod	Rozhodující mezičas $t_{m,r}$ [s]
1 → 2	4
2 → 4	4
4 → 3	6
3 → 1	3
Suma	17

Výpočet délky optimálního cyklu c_{opt} [s] viz vzorec č. (4.8)

Délka skutečného cyklu t_c byla zvolena 35 s.

Pro vjezdy s nejvyšším stupněm saturace byla vypočítána délka zelených. Délky zelených jsou uvedeny v Tabulce 32.

Tabulka 32 Délky zelených pro kritické vjezdy

Kritický vjezd	Fáze	$y_{krit,i}$ [-]	z_i [s]	použité
VA1	3	0,005	-0,281	5 s
VA3	1	0,036	4,178	5 s
VB1	2	0,078	10,219	10 s
VD1	4	0,027	2,884	5 s

Ve sloupci „použité“ jsou uvedeny délky zelených, které byly použity v signálním plánu. Délky zelených pro proudy VA1, VA3 a VD1 byly prodlouženy na minimální délku 5 s.

Všechny vypočtené hodnoty, které jsou nezbytné pro tvorbu signálního plánu jsou uvedeny v *Tabulce 33*.

Tabulka 33 Celková tabulka

Vjezd	Fáze	α [%]	k_{skl} [-]	R [m]	f [-]	k_{obl} [-]	S_v [pvoz/h]	I [pvoz/h]	y [-]	z_i [s]
VA1	3	0	1,0	12	1,00	0,89	1780	9	0,005	5
VA2	1	0	1,0	∞	1,00	1,00	2000	42	0,021	-
VA3	1	0	1,0	10	1,00	0,87	1740	63	0,036	5
VB1	2	0	1,0	4,5	0,57	0,84	1680	131	0,078	10
VC1	3	5	1,0	12	1,00	0,89	1780	9	0,005	-
VC2	1	5	1,0	20	0,33	0,98	1960	39	0,020	-
VD1	4	4	0,9	7	0,29	0,94	1730	47	0,027	5
Y	0,146									
C _{opt}	30									
L	14									
t _c	35									

Vytvořený signální plán pro čtyřfázovou variantu je na obrázku (*Obr.25*). Kvůli prodloužení doby zelených u vjezdů VA1, VA3, VD1 a také kvůli zařazení zeleného signálu PA pro chodce, došlo k prodloužení celého cyklu na 47 s. Následně je na obrázku (*Obr.26*) uveden signální plán, kde není zařazen signál pro chodce, tím došlo ke snížení délky cyklu o 5 s.

Obr. 25 Signální plán pro 4 fáze

SIGPLAN5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
VA2	1																																														
VA3	1																																														
VC2	1																																														
PA	2																																														
VB1	2																																														
VD1	4																																														
VA1	3																																														
VC1	3																																														

SIGPLAN6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
VA2	1																																									
VA3	1																																									
VC2	1																																									
PA	2																																									
VB1	2																																									
VD1	4																																									
VA1	3																																									
VC1	3																																									

Obr. 26 Signální plán pro 4 fázové schéma bez přechodu pro chodce

4.3.1 Kapacitní posouzení

Výpočty pro kapacitní posouzení jsou totožné jako u verze se třemi fázemi, proto je uvedena pouze tabulka s výslednými hodnotami kapacitního posouzení. Výsledky veškerých výpočtů jsou uvedeny v *Tabulce 34*.

Tabulka 34 Celková tabulka kapacitního posouzení pro 4 fáze

Vjezd	Fáze	z [s]	z' [s]	I [pvoz/h]	S _v [pvoz/h]	C _v [pvoz/h]	Re _z [%]	t _w [s]	ÚKD	L _f [m]
VA1	3	6	7	9	1780	356	97	10	A	0,420
VA2	1	8	8,5	42	2000	486	91	10	A	0,928
VA3	1	8	8,5	63	1740	423	85	10	A	1,391
VB1	2	10	10	131	1680	480	73	10	A	5,458
VC1	3	5	6	9	1780	305	97	11	A	0,435
VC2	1	5	6	39	1960	336	88	12	A	1,885
VD1	4	5	6	47	1730	297	84	12	A	2,272

Z kapacitního posouzení je zřejmé, že kvalita dopravy je na úrovni A na všech vjezdech. Křižovatka splňuje kritéria i ve čtyřfázové verzi.

4.4 Návrh signálního plánu pro čtyřfázové schéma na rok 2045

Pro čtyřfázové schéma byly použity stejné přepočtové koeficienty jako při návrhu třífázového schématu. Kvůli zestručnění jsou uvedeny pouze tabulky s konečnými výsledky pro návrh signálního plánu a finální výsledky kapacitního posouzení.

Výpočty potřebné pro tvorbu signálního jsou zpracovány v *Tabulce 35*.

Tabulka 35 Hodnoty pro tvorbu signálního plánu

Vjezd	Fáze	α [%]	k _{skl} [-]	R [m]	f [-]	k _{obl} [-]	S _v [pvoz/h]	I [pvoz/h]	y [-]	z _i [s]
VA1	3	0	1	12,0	1,00	0,89	1780	11	0,006	-
VA2	1	0	1	∞	1,00	1,00	2000	52	0,026	-
VA3	1	0	1	10,0	1,00	0,87	1740	80	0,046	5
VB1	2	0	1	4,5	0,57	0,84	1680	163	0,127	12
VC1	3	5	1	12,0	1,00	0,89	1780	12	0,007	5
VC2	1	5	1,0	20,0	0,33	0,98	1960	48	0,024	-
VD1	4	10	0,8	7,0	0,29	0,94	1504	60	0,048	5
Y	0,190									
C _{opt}	32									
L	14									
t _c	40									

Oproti původnímu řešení byla zvolena délka cyklu 40 s, čímž došlo k navýšení délky zelené u vjezdu VB1. Na obrázku (*Obr. 27*) je uveden vytvořený signální plán pro čtyřfázové schéma s výhledovými intenzitami na rok 2045. Jako další je na obrázku (*Obr. 28*) uveden signální plán, v němž není zařazen signál pro chodce, čímž mohlo dojít ke zkrácení délky cyklu o 5 s.

SIGPLAN7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
VA2	1																																																
VA3	1																																																
VC2	1																																																
PA	2																																																
VB1	2																																																
VD1	4																																																
VA1	3																																																
VC1	3																																																

Obr. 27 Signální plán pro čtvrtážovou verzi pro 2045

SIGPLAN8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
VA2	1																																												
VA3	1																																												
VC2	1																																												
PA	2																																												
VB1	2																																												
VD1	4																																												
VA1	3																																												
VC1	3																																												

Obr. 28 Signální pro 4 fázové schéma na rok 2045 bez přechodu pro chodce

4.4.1 Kapacitní posouzení

Výpočty pro kapacitní posouzení jsou totožné jako v *podkapitole 4.1.11*, proto je uvedena pouze tabulka s finálními výpočty – viz *Tabulka 36*.

Tabulka 36 Kapacitní posouzení

Vjezd	Fáze	z [s]	z' [s]	I [pvoz/h]	S _v [pvoz/h]	C _v [pvoz/h]	Re _z [%]	t _w [s]	ÚKD	L _f [m]
VA1	3	6	7,0	11	1780	312	96	13	A	0,605
VA2	1	8	8,5	52	2000	425	88	12	A	1,365
VA3	1	8	8,5	80	1740	370	78	13	A	2,100
VB1	2	12	13,0	163	1680	504	68	11	A	7,607
VC1	3	5	6,0	12	1780	267	96	13	A	0,680
VC2	1	5	6,0	48	1960	294	84	14	A	2,720
VD1	4	5	6,0	60	1504	226	73	16	A	3,400

Z kapacitního posouzení je zřejmé, že kvalita dopravy by měla zůstat na úrovni A i v roce 2045. Skutečná délka cyklu se podle signálního plánu prodloužila na 59 s oproti původním 47 s. Důvodem bylo navýšení návrhové délky cyklu na 40 s, čímž došlo k prodloužení délky zelené a navýšení délky celého cyklu.

Předchozí případy kapacitního posouzení byly věnovány situaci, kdy není přejezdové zabezpečovací zařízení v provozu. Kapacitnímu posouzení při aktivním přejezdovém zabezpečovacím zařízení je věnována následující kapitola.

4.5 Signální plán při průjezdu drážního vozidla

Při spuštění přejezdového zabezpečovacího zařízení (PZZ), dojde ke změně světelného řízení na křižovatce. Vjezdům, které jsou ovlivněny železničním přejezdem, je signalizována návěst „Stůj!“. Konkrétně se jedná o vjezdy VA3, VB1, VC1 a VD1. Zbylé vjezdy, které nejsou ovlivněny železničním přejezdem, mají návěst „Volno“ po celou dobu provozu PZZ, není-li výzva na PA. Pro lepší ilustraci je na obrázku (*Obr. 29*) uvedeno schéma křižovatky, v němž jsou zvýrazněny vjezdy, které mají trvale červenou.

U vjezdů VA1, VA2 a VC2 dojde vlivem aktivního přejezdového zabezpečovacího zařízení a stále zelenému signálu ke snížení střední doby t_w , není-li výzva na přechod. Naopak u vjezdů, které jsou ovlivněny železničním přejezdem, dojde ke zvýšení střední doby zdržení t_w .

4.5.1 Kapacitní posouzení zohledňující železniční přejezd

V současné době není dostupná žádná literatura, která by se zabývala problematikou, kde je křižovatka ovlivněna blízkostí železničního přejezdu. Proto jsou mé výpočty spíše experimentálního charakteru.

Tento návrh byl proveden pouze pro třífázové schéma.

Z dlouhodobého pozorování bylo zjištěno, že průměrná doba, kdy je přejezdové zařízení aktivní, činí 5 minut. Dále bylo zjištěno, že přejezdové zabezpečovací zařízení bylo aktivní průměrně dvakrát za hodinu. Tudíž se kapacita vjezdů ovlivněných železničním přejezdem snížila o 1/6. Z toho dále vyplývá, že střední doba zdržení na vjezdu t_w se u 1/6 vozidel navýší v průměru na 2,5 minuty. Vypočtené průměrné hodnoty střední doby zdržení pro jednotlivé vjezdy jsou uvedeny v *Tabulce 37*. Pod tabulkou je názorná ukázka výpočtu.

Tabulka 37 Průměrná střední doba zdržení

Vjezd	Fáze	I_v [pvoz/h]	S_v [pvoz/h]	t_w [s] aktivní přejezd	t_w [s] původní	$I_v \cdot (5/6)$ [pvoz/h]	Počet vozidel zdržených
VA3	1	63	1740	32	8	52,5	10,5
VB1	2	131	1280	30	6	109,2	21,8
VC1	3	9	1780	33	9	7,5	1,5
VD1	2	47	1248	29	5	39,2	7,8

$$t_{w_i} = \frac{I_v \cdot \frac{5}{6} \cdot t_{w_i} + I_v \cdot \frac{1}{6} \cdot 150}{I_v} \quad (4.16)$$

Dosazení pro vjezd VA3 pro $I_v = 63$ pvoz/h:

$$t_{w_{VA3}} = \frac{63 \cdot \frac{5}{6} \cdot 8 + 63 \cdot \frac{1}{6} \cdot 150}{63} = 31,64 \approx 32 \text{ s}$$

Vlivem snížení propustnosti křižovatky při spuštění přejezdového zabezpečovacího zařízení může dojít k nahromadění vozidel na ovlivněných vjezdech. Z tohoto důvodu by po přechodu SSZ zpět do původního signálního plánu, bylo vhodné prodloužit doby zelených na těchto vjezdech. Pro tuto situaci byl vytvořen návrh signálního plánu. Výpočet času byl proveden z hodnot intenzit dopravy na vjezdu a hodnot saturovaného

toku pro jednotlivé vjezdy. Tím byl získán průměrný počet vozidel, která přijedou na křižovatku během aktivní doby přejezdového zabezpečovacího zařízení. Dále bylo spočítáno, jaký průměrný čas potřebuje jedno vozidlo na projetí křižovatky. Následně byla vypočítána doba zelené, potřebná pro vyklizení vjezdu. Tento výpočet byl proveden pro všechny vjezdy ovlivněné železničním přejezdem a pomocí těchto hodnot byl vytvořen signální plán, který by byl v systému pouze po vypnutí přejezdového zabezpečovacího zařízení. V dalším cyklu by se křižovatka vrátila k původnímu signálnímu plánu. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v *Tabulce 38*.

Tabulka 38 Délky zelených pro vyklizení

Vjezd	Fáze	I [pvoz/h]	S _v [pvoz/h]	Počet aut za dobu zelené	Doba zelené pro vyklizení [s]
VA3	1	63	1740	5,3	11
VB1	2	131	1280	10,9	31
VC1	3	9	1780	3,0	6
VD1	2	47	1248	4,6	13

$$z^{\text{v}} = \frac{\frac{I_v}{60} * 5 * 3600}{S_v} \quad (4.17)$$

Dosazení pro vjezd VA3 pro $I_v = 63$ pvoz/h:

$$z^{\text{v}} = \frac{\frac{I_v}{60} * 5 * 3600}{S_v} = \frac{\frac{63}{60} * 5 * 3600}{1740} = 10,89 \doteq 11 \text{ s}$$

Vytvořený signální plán je uveden na následující straně na obrázku (*Obr. 31*).

65

[illegible]

5 Dosažené výsledky a jejich zhodnocení

Cílem mé diplomové práce bylo navrhnout světelné signalizační zařízení na vybrané křižovatce. Pro realizaci tohoto návrhu bylo nutné nejdříve zjistit stávající intenzity dopravy a současné nastavení SSZ.

Po pořízení kamerového záznamu a vyčtení potřebných dat, následovaly výpočty pro návrhové řešení. Pomocí metody saturevaného toku byl navržen signální plán a následně provedeno kapacitní posouzení.

Pro současný stav byla provedena dvě možná řešení. První možnost spočívá ve společné fázi pro vjezd VB1 a VD1 jedoucí současně proti sobě. V tomto případě vyšla celková délka cyklu 41 s a nejvyšší střední doba zdržení činí 9 s a nachází se na vjezdech VC1 a VC2.

Další byl návrh pro výhledové intenzity dopravy pro rok 2045. Ze zjištěných koeficientů byly vypočítány intenzity dopravy pro rok 2045, podle kterých byl navržen signální plán. Oproti současnému stavu nedochází k nijak markantnímu zvýšení intenzity, tudíž se celková délka cyklu zvýšila na 45 s oproti původním 41 s. Pro přehlednost jsou v *Tabulce 39* uvedeny střední doby zdržení t_w a délky cyklu pro současnou variantu a pro variantu na rok 2045.

Tabulka 39 Srovnání zdržení pro třífazové schéma

		Současnost	Rok 2045
Vjezd	Fáze	t_w [s]	t_w [s]
VA1	3	8	10
VA2	1	7	10
VA3	1	8	10
VB1	2	6	6
VC1	3	9	11
VC2	1	9	12
VD1	2	5	5
Délka cyklu [s]	-	41	45

Jako další možné řešení byl pohyb dopravních proudů VB1 a VD1 rozdělen do samostatných fází, tudíž vzniklo nové fázové schéma o čtyřech fázích. Tímto rozdělením došlo k prodloužení cyklu na 47 s. Toto řešení není v současné situaci příliš vhodné. Při zvýšení intenzity vlevo odbočujících ve vjezdu VB1 nebo VD1 je možné toto

řešení použít pro zvýšení propustnosti. Nejvyšší doba zdržení je v tomto případě 12 s a to na vjezdech VC2 a VD1.

Návrh pro výhledové intenzity byl proveden také pro čtyřfázové řešení. V tomto případě došlo k navýšení délky z původních 47 s na 49 s. Podle výpočtů by křižovatka měla kapacitně vyhovět v obou zkoumaných případech i v roce 2045. Pro přehlednost jsou v *Tabulce 40* uvedeny střední doby zdržení t_w a délky cyklu pro současnou variantu a pro variantu na rok 2045.

Tabulka 40 Srovnání zdržení pro čtyřfázové schéma

Vjezd	Fáze	Současnost	Rok 2045
		t_w [s]	t_w [s]
VA1	3	10	13
VA2	1	10	12
VA3	1	10	13
VB1	2	10	11
VC1	3	11	13
VC2	1	12	14
VD1	4	12	16
Délka cyklu [s]	-	47	49

Poslední část mé práce byla věnována situaci, kdy je přejezdové zabezpečovací zařízení aktivní a některé dopravní proudy mají trvale signál „Stůj!“. Byl vytvořen signální plán pro danou situaci, následně bylo vypočteno průměrné střední zdržení vozidel, která jsou ovlivněna přejezdem. Další návrh signálního plánu byl proveden pro situaci, kdy dojde vlivem aktivního přejezdového zabezpečovacího zařízení k nashromáždění vozidel v daných vjezdech. Tento problém byl vyřešen prodloužením délky zelených na ovlivněných vjezdech. K nejvyššímu prodloužení došlo u vjezdu VB1 a délka zelená vzrostla z původních 13 s na 31 s. Po ukončení tohoto cyklu se signální plán vrátí do původního nastavení. Srovnání jak se změní střední doby zdržení u ovlivněných vjezdů je uvedeno v *Tabulce 41* na následující straně.

Tabulka 41 Střední doby zdržení při aktivním přejezdu

Vjezd	Fáze	t_w [s] aktivní přejezd	t_w [s] původní
VA3	1	31,6	8
VB1	2	30,3	6
VC1	3	32,4	9
VD1	2	29,1	5

Na dané křižovatce je SSZ použito kvůli blízkosti železničního přejezdu, který je od křižovatky vzdálen pouze 20 m, čímž ovlivňuje provoz. Vzhledem k současným intenzitám dopravy, které jsou nízké, je možné použít další řešení. Křižovatka by byla v provozu s trvale blikajícím žlutým světlem a pouze při spuštění přejezdového zabezpečovacího zařízení by došlo k uvedení SSZ do provozu. Kvůli zajištění bezpečnosti provozu na křižovatce je možno nechat zařízení v provozu i při vypnutém PZZ.

Důvodem proč jsem si danou křižovatku vybral byla krátká doba zelené na vjezdu VB1. Pro přehlednost je přiložena *Tabulku 42*, ve které jsou uvedeny délky současných zelených a délky zelených, které byly určeny výpočtem.

Tabulka 42 Srovnání délek zelených

	Současné	Vypočtené
Vjezd	z [s]	z [s]
VA1	7	6
VA2	10	8
VA3	10	8
VB1	10	13
VC1	7	5
VC2	10	5
VD1	12	13

Z *Tabulky 42* je zřejmé, že došlo k prodloužení délky zelené u vjezdu VB1, protože se jedná o vjezd s nejvyšší intenzitou dopravy. Mou snahou bylo prodloužit dobu zelené na vjezdu VB1, což se povedlo.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce byl návrh světelného řízení na vybrané křižovatce, která je ovlivněna blízkostí železničního přejezdu.

Úvodní část je věnována teoretickým východiskům dané problematiky. Jsou v ní popsány pojmy a metody, se kterými je dále pracováno.

Další části práce je analýza dat potřebných pro provedení návrhu. Z pořízeného průzkumu byly odečteny intenzity vozidel, současné délky zelených a další potřebná data pro realizaci signálního plánu.

Čtvrtá kapitola je věnována samotnému návrhu signálního plánu, pro výpočet délky zelených byla zvolena metoda saturovaného toku. Bylo provedeno několik návrhů signálních plánů, jak pro současný stav, tak pro výhledové intenzity na rok 2045. Současně byl vytvořen signální plán zahrnující situaci při spuštěném přejezdovém zabezpečovacím zařízení. Pro každý signál plán bylo současně provedeno kapacitní posouzení.

Poslední část je věnována dosaženým výsledkům a jejich zhodnocení. Z celkového zhodnocení vyplývá, že v současné době je nejlepší řešení s třífázovým řešením a skutečnou délkou cyklu 41 s. V tomto případě byly vypočítány nejnižší střední doby zdržení, proto bych použil daný signální plán. Srovnání středních dob zdržení je uvedeno v *Tabulce 43*.

Tabulka 43 Celkové srovnání středních dob zdržení

		vypočtené			4 fáze vypočtené
Vjezd	Fáze	t_w [s]	Fáze		t_w [s]
VA1	3	8	3		10
VA2	1	7	1		10
VA3	1	8	1		10
VB1	2	6	2		10
VC1	3	9	3		11
VC2	1	9	1		12
VD1	2	5	4		12
Délka cyklu [s]	-	41	-		47

Seznam použité literatury

- [1] FOLPRECHT, Jan a Vladislav KŘIVDA. *Organizace a řízení dopravy I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1030-1.
- [2] DORDA, Michal. *Úvod do dopravního inženýrství*. [online]. [cit. 18-11-2019]. Dostupný z www: http://homel.vsb.cz/~dor028/DI_1.pdf
- [3] MEDELSKÁ, Viera. *Dopravné inžinierstvo*. Bratislava: Alfa, 1991. Edícia stavebníckej literatúry. ISBN 80-05-00737-X.
- [4] KŘIVDA, Vladislav. *Základy organizace a řízení silniční dopravy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1253-3.
- [5] *Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: technické podmínky : TP 81*. 3. vyd. Praha: Ministerstvo dopravy, 2015. TP, 81. [Online]. [cit. 15-3-2019] Dostupný z www: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_81.pdf
- [6] DORDA, Michal. *Návrh signálního plánu pro světelně řízenou křižovatku*. [online]. [cit. 15-3-2019]. Dostupný z www: http://homel.vsb.cz/~dor028/DI_6.pdf
- [7] Mapy.cz [Online] [cit. 4-2-2019]
Dostupný z www: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.3198392&y=50.3036960&z=18>
- [8] Google maps [Online] [cit. 4-2-2019]
Dostupný z www: <https://www.google.cz/maps/@50.2933514,17.3188575,15z>
- [9] MARTOLOS, Jan. *Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek*. Liberec: EDIP, 2011. TP, 235. ISBN 978-80-87394-03-8. Normativní a ochranné dokumenty. EDIP (firma)
- [10] KŘIVDA, Vladislav. *Organizace a řízení dopravy II*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2123-8.
- [11] *Prognóza intenzit automobilové dopravy: technické podmínky : TP 225*. 3. vyd. Praha: Ministerstvo dopravy, 2018. TP, 225. [Online]. [cit. 20-3-2019] Dostupný z www: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_225_2018.pdf

Seznam použitých tabulek

<i>Tabulka 1</i> Koeficienty skladby dopravního proudu	21
<i>Tabulka 2</i> Podíl odbočujících vozidel.....	25
<i>Tabulka 3</i> Poloměry oblouků.....	26
<i>Tabulka 4</i> Koeficienty oblouků	26
<i>Tabulka 5</i> Sklon vjezdů a koeficient sklonu	27
<i>Tabulka 6</i> Tabulka mezičasů.....	28
<i>Tabulka 7</i> Saturevané toky jednotlivých vjezdů.....	29
<i>Tabulka 8</i> Stupně saturace.....	29
<i>Tabulka 9</i> Kritické vjezdy	30
<i>Tabulka 10</i> Rozhodující mezičasy.....	31
<i>Tabulka 11</i> Součet rozhodujících mezičasů	31
<i>Tabulka 12</i> Součet mezičasů pro vybraný sled fází	32
<i>Tabulka 13</i> Délky zelených pro kritické vjezdy.....	33
<i>Tabulka 14</i> Mezičasy jednotlivých fází	34
<i>Tabulka 15</i> Celková tabulka	38
<i>Tabulka 16</i> Efektivní délky zelených.....	38
<i>Tabulka 17</i> Saturevaný tok vjezdu	39
<i>Tabulka 18</i> Kapacita vjezdu	39
<i>Tabulka 19</i> Rezerva kapacity vjezdů.....	40
<i>Tabulka 20</i> Střední doby zdržení	41
<i>Tabulka 21</i> Úroveň kvality dopravy.....	42
<i>Tabulka 22</i> Délka fronty na vjezdu	42

<i>Tabulka 23 Celková tabulka</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 24 Celková tabulka s výpočty pro rok 2045.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 25 Tabulka kapacitního posouzení pro výhledové intenzity v roce 2045</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 26 Poloměr oblouku.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 27 Tabulka mezičasů.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 28 Určení kritických vjezdů</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 29 Rozhodující mezičasy.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 30 Součet rozhodujících mezičasů</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 31 Součet mezičasů pro vybraný sled fází</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 32 Délky zelených pro kritické vjezdy.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabulka 33 Celková tabulka</i>	<i>53</i>
<i>Tabulka 34 Celková tabulka kapacitního posouzení pro 4 fáze</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 35 Hodnoty pro tvorbu signálního plánu.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 36 Kapacitní posouzení.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 37 Průměrná střední doba zdržení</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 38 Délky zelených pro vyklizení.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabulka 39 Srovnání zdržení pro třífázové schéma.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 40 Srovnání zdržení pro čtyřfázové schéma</i>	<i>67</i>
<i>Tabulka 41 Střední doby zdržení při aktivním přejezdu</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 42 Srovnání délek zelených.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 43 Celkové srovnání středních dob zdržení.....</i>	<i>69</i>

Seznam použitých obrázků

<i>Obr. 1</i> Vyobrazení kolizních bodů	10
<i>Obr. 2</i> Schéma úrovnňových křižovatek	11
<i>Obr. 3</i> Signální plán.....	12
<i>Obr. 4</i> Křižovatka	13
<i>Obr. 5</i> Schéma křižovatky.....	14
<i>Obr. 6</i> Pohled na rameno od Jeseníku	15
<i>Obr. 7</i> Pohled na rameno od Glucholaz	16
<i>Obr. 8</i> Pohled na rameno od Glucholaz	17
<i>Obr. 9</i> Pohled na rameno od Jeseníku	17
<i>Obr. 10</i> Pohled na rameno od Mikulovic	18
<i>Obr. 11</i> Pohled na rameno od Travné	19
<i>Obr. 12</i> Pohled na rameno od Travné	20
<i>Obr. 13</i> Pohled na rameno od Mikulovic	20
<i>Obr. 14</i> Pentlogram křižovatky.....	23
<i>Obr. 15</i> Schéma křižovatky.....	25
<i>Obr. 16</i> Třífázové schéma.....	28
<i>Obr. 17</i> Signální plán.....	36
<i>Obr. 18</i> Signální plán bez přechodu pro chodce	37
<i>Obr. 19</i> Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro osobní vozidla.....	44
<i>Obr. 20</i> Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro lehká nákladní vozidla.....	44
<i>Obr. 21</i> Koeficienty vývoje intenzit dopravy pro těžká nákladní vozidla	44
<i>Obr. 22</i> Signální plán pro rok 2045.....	47

<i>Obr. 23 Signální plán pro rok 2045 bez přechodu pro chodce</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 24 Schéma a pořadí fází</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 25 Signální plán pro 4 fáze.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 26 Signální plán pro 4 fázové schéma bez přechodu pro chodce</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 27 Signální plán pro čtyřfázovou verzi pro 2045</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 28 Signální pro 4 fázové schéma na rok 2045 bez přechodu pro chodce</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 29 Schéma křižovatky</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 30 Signální plán při spuštěném PZZ a zařazeném signálu PA</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 31 Signální plán pro vyklizení křižovatky.....</i>	<i>65</i>

Seznam použitých grafů

<i>Graf 1 Intenzity pro jednotlivé vjezdy.....</i>	<i>22</i>
<i>Graf 2 Porovnání současných a výhledových intenzit</i>	<i>45</i>

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michalu Dordovi, Ph.D. za jeho cenné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která při mně stála a podporovala mě po celou dobu mého studia a díky které jsem se mohl věnovat studiu oboru, který mě baví a zajímá.